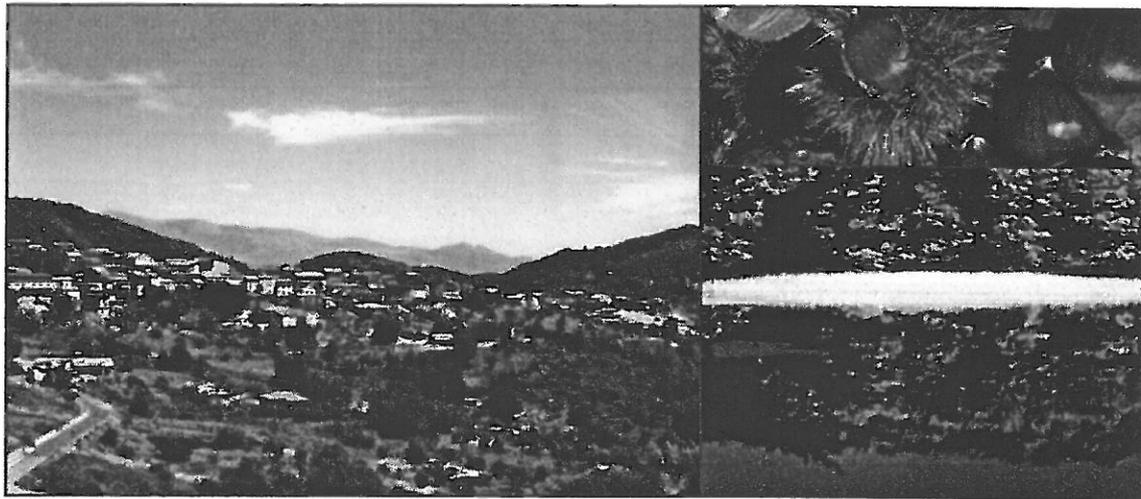


# Città di **FAGNANO CASTELLO**

## **Piano Strutturale Comunale**

(Legge Urbanistica Regionale n.19 del 16 aprile 2002 e s.m.i.)



### **RELAZIONE PROSPEZIONI SISMICHE**

**ALL. GEO 2R**

**SCALA**

**DATA: DICEMBRE 2011**

**APPROVAZIONI  
IL R.U.P.**

**I CONSULENTI INCARICATI  
Dott. Geol. Gianfranco BARTOLO**

**Dott.ssa Geol Maria Trieste ARENA**

**Dott.ssa Geol. Carmelina DE ROSE**

**Dott.ssa Geol. Nadine CETRARO**

# DATI DISSESTI 2009

## ***SISMICHE***

### ***TROMOGRAFIE***

Indagine Geofisica (Prospezioni sismiche HVSR)

Nel sito in oggetto è stata effettuata una misura del microtremore ambientale della durata di 20 minuti con un tromografo digitale progettato specificamente per l'acquisizione del rumore sismico.

Lo strumento (TROMINO©, 10 x 7 x 14 cm per 1 kg di peso) è dotato di tre sensori elettrodinamici (velocimetri) orientati N-S, E-W e verticalmente, alimentato da 2 batterie AA da 1.5 V, fornito di GPS interno e senza cavi esterni. I dati di rumore, amplificati e digitalizzati a 24 bit equivalenti, sono stati acquisiti alla frequenza di campionamento di 128Hz.

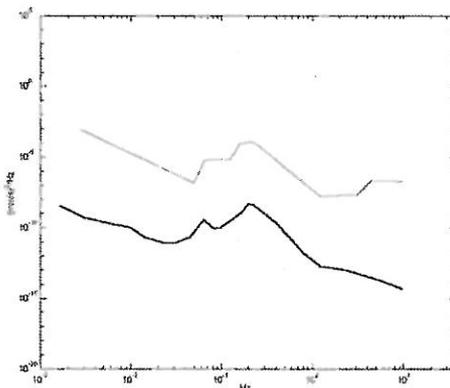
#### *Sorgente del rumore*

Il rumore sismico ambientale, presente ovunque sulla superficie terrestre, è generato dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) e dall'attività antropica oltre che, ovviamente, dall'attività dinamica terrestre. Si chiama anche microtremore in quanto riguarda oscillazioni molto piccole (10–15 [m/s<sup>2</sup>]<sup>2</sup> in termini di accelerazione), molto più piccole di quelle indotte dai terremoti nel campo vicino.

I metodi che si basano sulla sua acquisizione si dicono passivi in quanto il rumore non è generato ad hoc, come ad esempio le esplosioni della sismica attiva.

Nelle zone in cui non è presente alcuna sorgente di rumore locale, in assenza di vento e nel caso in cui il terreno sia roccioso e pianeggiante, lo spettro in frequenza del rumore di fondo in un terreno roccioso e pianeggiante presenta l'andamento illustrato in figura,

dove la curva bassa rappresenta il rumore di fondo “minimo” di riferimento secondo il servizio geologico statunitense (USGS) mentre la curva superiore rappresenta il “massimo” di tale rumore, e dove i picchi a 0.14 e 0.07 Hz sono comunemente interpretati come originati dalle onde oceaniche.



Tali componenti spettrali vengono attenuate molto poco anche dopo tragitti di migliaia di chilometri per effetto di guida d'onda. A tale andamento generale, che è sempre presente, si sovrappongono le sorgenti locali, antropiche (traffico, industrie o anche il semplice passeggiare di una persona) e naturali che però si attenuano fortemente a frequenze superiori a 20 Hz, a causa dell'assorbimento anelastico originato dall'attrito interno delle rocce.

### *Effetti di percorso*

Nel tragitto dalla sorgente  $s$  al sito  $x$  le onde elastiche (sia di terremoto che di microtremore) subiscono riflessioni, rifrazioni, intrappolamenti per fenomeni di guida d'onda, attenuazioni che dipendono dalla natura del sottosuolo attraversato. Questo significa che, se da un lato l'informazione relativa alla sorgente viene persa e non sono più applicabili le tecniche della sismica classica di "ray tracing", è presente comunque una parte debolmente correlata nel segnale che può essere estratta e che contiene le informazioni relative al percorso del segnale ed in particolare relative alla struttura locale vicino al sensore.

Dunque, anche il debole rumore sismico, che tradizionalmente costituisce la parte di segnale scartata dalla sismologia classica, contiene informazione. Questa informazione è però "sepolta" all'interno del rumore casuale e può essere estratta attraverso tecniche opportune. Una di queste è la tecnica dei rapporti spettrali o, semplicemente, HVSR.

### *Definizioni e Tecnica Impiegata*

Il tipo di stratigrafia che le tecniche di sismica passiva possono restituire si basa sul concetto di contrasto di impedenza. Per strato si intende cioè un'unità distinta da quelle sopra e sottostanti per un contrasto di impedenza, ossia per il rapporto tra i prodotti di velocità delle onde sismiche nel mezzo e densità del mezzo stesso.

Dai primi studi di Kanai (1957) in poi, diversi metodi sono stati proposti per estrarre l'informazione relativa al sottosuolo a partire dagli spettri del rumore sismico registrati in un sito. Tra questi, la tecnica che si è maggiormente consolidata nell'uso è la tecnica dei rapporti spettrali tra le componenti del moto orizzontale e quella verticale (HVSR), applicata da Nogoshi e Igarashi (1970). Il metodo fu in seguito reso popolare principalmente da Nakamura (1989) come strumento per la determinazione dell'amplificazione sismica locale.

È ampiamente riconosciuto che l'HVSR è in grado di fornire stime affidabili delle frequenze principali di risonanza dei sottosuoli. Riconosciuta questa capacità e dato che, se è disponibile una stima delle velocità delle onde elastiche, le frequenze di risonanza possono essere convertite in stratigrafia, ne risulta che il metodo HVSR può essere in linea di principio usato come strumento stratigrafico. Le basi teoriche dell'HVSR sono relativamente semplici in un sistema stratificato in cui i parametri variano solo con la profondità (1-D).

Considerando un sistema in cui gli strati 1 e 2 si distinguono per le diverse densità ( $\rho_1$  e  $\rho_2$ ) e le diverse velocità delle onde sismiche ( $V_1$  e  $V_2$ ), un'onda che viaggia nel mezzo 1 viene (parzialmente) riflessa dall'orizzonte che separa i due strati. L'onda così riflessa interferisce con quelle incidenti, sommandosi e raggiungendo le ampiezze massime (condizione di risonanza) quando la lunghezza dell'onda incidente ( $\lambda$ ) è 4 volte (o suoi multipli dispari) lo spessore  $h$  del primo strato.

In altre parole la frequenza fondamentale di risonanza ( $f_r$ ) dello strato 1 relativa alle onde P è pari a

$$f_r = VP_1/(4 h) [1]$$

mentre quella relativa alle onde S è

$$f_r = VS_1/(4 h) [2]$$

Teoricamente questo effetto è sommabile cosicché la curva HVSR mostra come massimi relativi le frequenze di risonanza dei vari strati. Questo, insieme ad una stima delle velocità, è in grado di fornire previsioni sullo spessore  $h$  degli strati. Questa informazione è per lo più contenuta nella componente verticale del moto ma la prassi di usare il rapporto tra gli spettri orizzontali e quello verticale, piuttosto che il solo spettro verticale, deriva dal fatto che il rapporto fornisce un'importante normalizzazione del segnale per il contenuto in frequenza, la risposta strumentale e l'ampiezza del segnale quando le registrazioni vengono effettuate in momenti con rumore di fondo più o meno alto. La normalizzazione, che rende più semplice l'interpretazione del segnale, è alla base della popolarità del metodo.

Rileviamo inoltre come i microtrempi siano solo in parte costituiti da onde di volume, P o S, e in misura molto maggiore da onde superficiali, in particolare da onde di Rayleigh (Lachet e Bard, 1994). Tuttavia ci si può ricondurre a risonanza delle onde di volume poiché le onde di superficie sono prodotte da interferenza costruttiva di queste ultime e poiché la velocità dell'onda di Rayleigh è molto prossima a quella delle onde S.

L'applicabilità pratica della semplice formula [2] è stata già dimostrata in molti studi sia nell'ambito della prospezione geofisica che nell'ambito ingegneristico (Gallipoli et al., 2000; Mucciarelli e Gallipoli, 2001; Castellaro et al., 2005).

#### *Procedura di analisi dati*

Dalle registrazioni del rumore sismico sono state ricavate e analizzate due serie di dati:

1. le curve HVSR, ottenute col software Grilla in dotazione a TROMINO®, secondo la procedura descritta in Castellaro et al. (2005), con parametri:

- larghezza delle finestre d'analisi 20 s;

- lisciamento secondo finestra triangolare con ampiezza pari al 10% della frequenza centrale;
- rimozione delle finestre con rapporto STA/LTA (media a breve termine/media a lungo termine) superiore a 2;

- rimozione manuale di eventuali transienti ancora presenti.

2. le curve dello spettro di velocità delle tre componenti del moto (ottenute dopo analisi con gli stessi parametri del punto 1.

Le profondità  $h$  delle discontinuità sismiche sono state ricavate tramite la formula [3] in cui “ $V_0$ ” è la velocità al tetto dello strato, “ $a$ ” un fattore che dipende dalle caratteristiche del sedimento (granulometria, coesione ecc.) e “ $\nu$ ” la frequenza fondamentale di risonanza (Ibs-Von Seht e Wohlenberg, 1999).

#### *Analisi dei dati*

Nell’area in esame è stata eseguita n° 1 stazione di misura, per un tempo di acquisizione di 20’. Dopo le operazioni di elaborazione dati descritte, per le prova, si sono ottenuti i diagrammi H/V e la curve di spettro riportate in allegato. La ricerca dei picchi da interpretare è stata effettuata, congiuntamente, nel grafico H/V e in quello degli spettri singoli.

In particolare, i picchi H/V di origine stratigrafica sono quelli generati da un minimo nelle componenti verticali del moto – curve magenta negli spettri – che significa minimo delle onde di Rayleigh alla frequenza di risonanza. Oltre a questo può esistere un massimo nelle componenti orizzontali del modo.

#### *Modello sismico del sottosuolo*

Allo scopo di creare un modello sismico del sito, è stata eseguita l’inversione delle curve H/V mirando a far corrispondere le frequenze dei picchi principali e la forma generale della curva (tecnica del “best fit”). Nell’inversione sono state seguite le procedure descritte in Arai e Tokimatsu (2004), usando il solo modo fondamentale delle onde di Rayleigh e Love.

Nella tabella visibile nell’allegato sono riportati i parametri che usati nel modello, e nelle figure il confronto tra la curva H/V teorica e sperimentale e gli spettri delle singole componenti ed il modello sismico del sottosuolo sviluppato nei primi 30 m per il calcolo di  $V_{s30}$ .

## ***METODO SISMICO A RIFRAZIONE***

E' il metodo più diffuso e meglio conosciuto: si basa sulla registrazione, mediante una serie di sensori (geofoni), del tempo di arrivo della prima onda sismica longitudinale ( $V_p$ ).

L'apparecchiatura necessaria per questo tipo di prospezioni è costituita da una serie di geofoni (generalmente in numero di 12 o 24) che vengono spazati regolarmente lungo un determinato allineamento (stendimento) di lunghezza proporzionale alla profondità di indagine, e da un apparecchio di registrazione che permette di memorizzare l'istante di partenza della perturbazione ed i tempi di arrivo delle onde a ciascun geofono. La registrazione, sia del momento dell'esplosione che del segnale amplificato da ciascun geofono, avviene simultaneamente su un unico diagramma (sismogramma).

Il metodo sismico a rifrazione permette quindi, mediante la generazione di onde elastiche longitudinali ( $V_p$ ) in un punto del terreno ed il loro arrivo in superficie ai geofoni, la ricostruzione di diagrammi distanze-tempi (dromocrone) dai quali è possibile ottenere, con una successiva fase di calcolo automatico le velocità e profondità delle interfacce profonde, nonché la disposizione geometrica dei litotipi presenti nel sottosuolo investigato. I tempi rifratti si riferiscono ad onde sismiche longitudinali ( $V_p$ ) che incidono con "angolo critico" la superficie di separazione di due mezzi a velocità diverse e crescenti verso il basso (ad esempio due strati  $S_1$  e  $S_2$  aventi velocità  $V_1$  e  $V_2$ , con  $V_2 > V_1$ ). Queste onde possono propagarsi lungo tale interfaccia e tornare in superficie fornendo informazioni sugli spessori, sulle variazioni degli stessi, sulle velocità dei due mezzi e sulla pendenza dell'interfaccia, proprio perché la velocità e le direzioni di propagazione delle onde sismiche sono strettamente dipendenti dalle caratteristiche fisico-meccaniche dei materiali attraversati e dalla presenza di eventuali superfici di discontinuità separanti litotipi con diverso comportamento elasto-meccanico.

A titolo indicativo si forniscono (Tab. 1) alcuni valori di velocità per le onde di compressione. Si può osservare che il campo di variazione per uno stesso litotipo è ampio proprio perché la velocità dipende, oltre che dai parametri elastici intrinseci di ciascun litotipo, anche da numerosi altri fattori come ad esempio il grado di litificazione, la porosità, la tessitura, il contenuto di fluidi ecc.

Tab. 1

<b>Mezzo di propagazione</b>	<b>Vp (Km/s)</b>
<i>Acqua dolce</i>	1,45
<i>Areato superficiale</i>	0,3 ÷ 0,8
<i>Limi</i>	0,2 ÷ 0,6
<i>Alluvioni secche</i>	0,6 ÷ 1,2
<i>Alluvioni umide</i>	1,6 ÷ 2,4
<i>Argille</i>	1,8 ÷ 2,2
<i>Tufi</i>	1,8 ÷ 2,5
<i>Marne</i>	2 ÷ 3
<i>Arenarie</i>	2 ÷ 3,5
<i>Lave</i>	2,5 ÷ 4
<i>Calcari e dolomie</i>	3 ÷ 5
<i>Scisti e micascisti</i>	3 ÷ 4,5
<i>Gneiss</i>	3,5 ÷ 5
<i>Granito</i>	4 ÷ 6

### **Acquisizione dei dati sismici**

L'acquisizione dei dati è stata effettuata con un sismografo "Echo 12-24/2002 Seismic Unit" a 24/12 canali con la seguente strumentazione a corredo:

- N 12 geofoni verticali a 14 Hz mod. OYO GS20-DX;
- N 1 cavi sismici con 12 takes-out;
- Mazza di battuta da 8 Kg con starter e piastra in alluminio, utilizzate per creare il punto di energizzazione.

Nella fase di acquisizione il prospektore geologo, coadiuvato da un aiuto prospektore, ha verificato in ogni istante, l'operatività della strumentazione, utilizzando i parametri di acquisizione (geometria dello stendimento, frequenza, intervallo di campionamento, ecc.) ottimali per il sito in esame.

La soglia di frequenza di filtro del segnale è stata continuamente verificata ed impostata in modo da eliminare le fonti di disturbo procedendo, se necessario, a migliorare il rapporto segnale/rumore.

I parametri di acquisizione utilizzati sono i seguenti:

<b>Profilo sismico a rifrazione da 60 ml</b>	
<i>N° canali di registrazione</i>	<i>12</i>
<i>Distanza intergeofonica</i>	<i>5 m</i>
<i>N° scoppi</i>	<i>3</i>
<i>Frequenza filtro (Hz)</i>	<i>400</i>
<i>Sistema di energizzazione (mazza)</i>	<i>8 kg</i>

Le registrazioni delle tracce sismiche, sono state visualizzate direttamente in campagna, ove sono state eseguite le letture preliminari dei tempi di arrivo, successivamente elaborate con apposito software.

## ***SONDAGGI A CAROTAGGIO CONTINUO***

Al fine di individuare l'esatta successione stratigrafica dei terreni affioranti in zona, valutare la granulometria, lo stato d'alterazione e fratturazione dei materiali, la presenza della falda acquifera, ecc, sono stati censiti i dati di sondaggi geognostici a carotaggio continuo. Per la realizzazione di detti sondaggi è stata impiegata una sonda a testa rotante, alla quale è collegato un mandrino filettato, solidale con le aste di perforazione, aventi queste ultime una lunghezza di 3m ciascuna. L'avanzamento della batteria di perforazione è di tipo idraulico, ed il prelievo di campioni rimaneggiati di terreno avviene mediante un carotiere semplice, il quale esercita un'azione di taglio nel terreno. Esso in particolare risulta costituito da un tubo cilindrico con diametro esterno pari a mm101, munito all'estremità inferiore di una corona dentata al widia e provvisto di dispositivo a valvola che impedisce la perdita del materiale "carotato".

Tutti i "campioni rimaneggiati" sono stati custoditi in apposite cassette catalogatrici, opportunamente numerate e quotate, in maniera tale da offrire una visione immediata e reale della stratigrafia rinvenuta lungo la verticale di sondaggio.

Durante le fasi di perforazione, si è provvederà ad effettuare il prelievo di campioni indisturbati per ciascun foro, secondo le modalità "Anisig", mediante l'impiego di un campionatore a pareti sottile del tipo "Shelby", in acciaio zincato, del diametro di 100 mm e della lunghezza di 60 cm, munito di scarpa tagliente e di valvola di sfiato.

Sono stati utilizzate anche stratigrafie provenienti dalla perforazione di pozzi, ricavate dal portale dell'istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale ISPRA.

## FAGNANO, CIMITERO T1

Instrument: TRZ-0066/01-10

Start recording: 19/07/10 11:00:29 End recording: 19/07/10 11:16:30

Smoothing window: Triangular window

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

GPS data not available

Trace length: 0h16'00". Analysis performed on the entire trace.

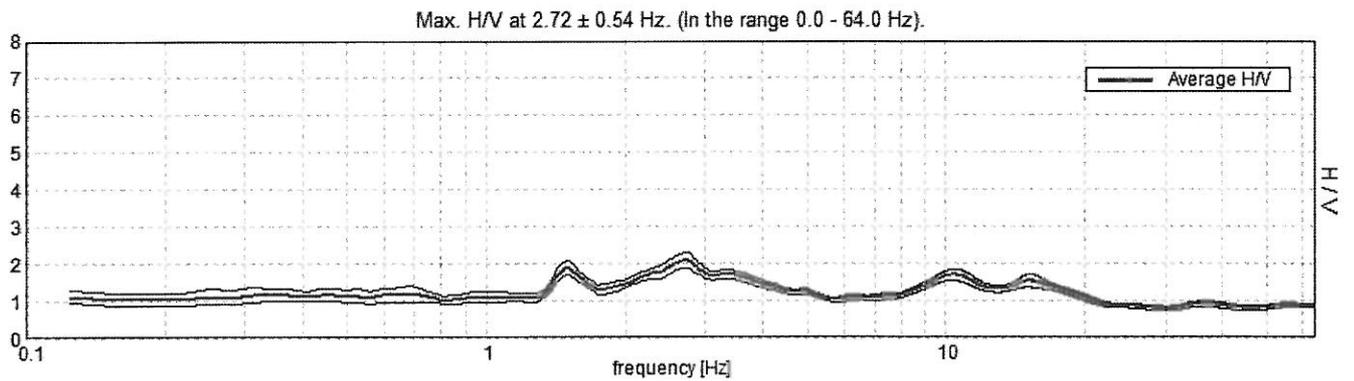
Sampling frequency: 128 Hz

Window size: 20 s

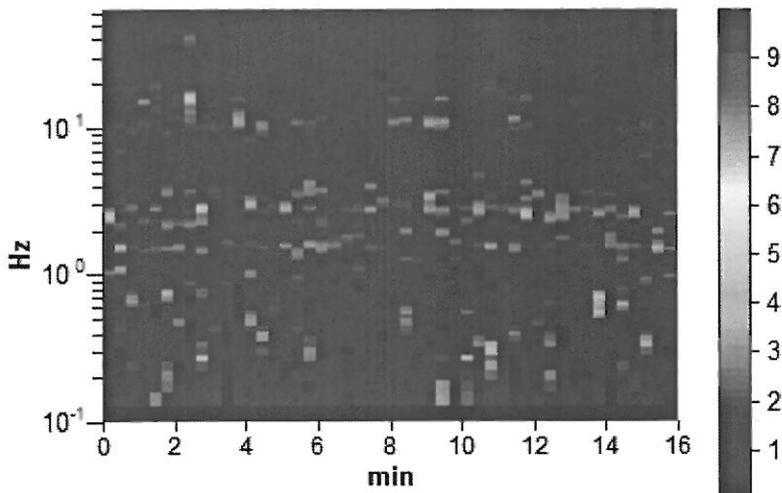
Smoothing window: Triangular window

Smoothing: 10%

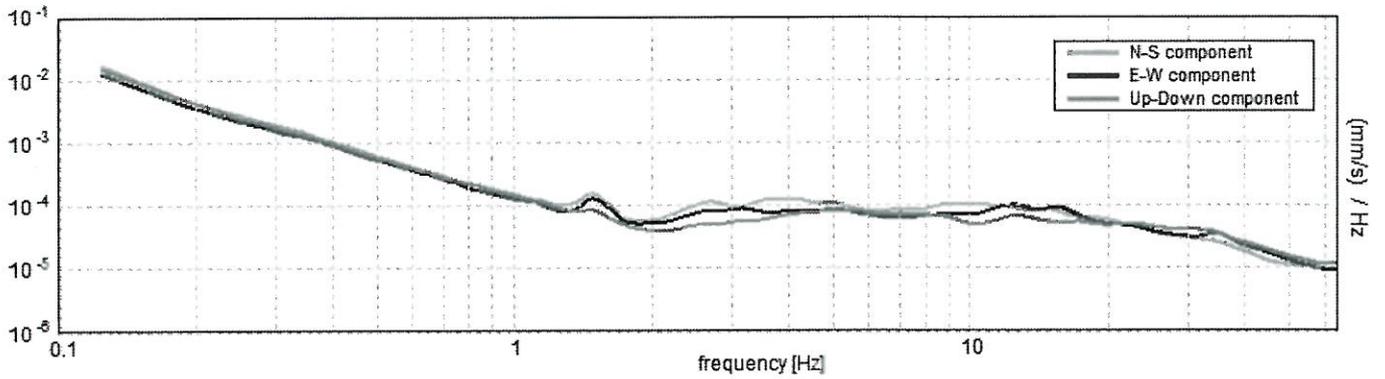
### HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



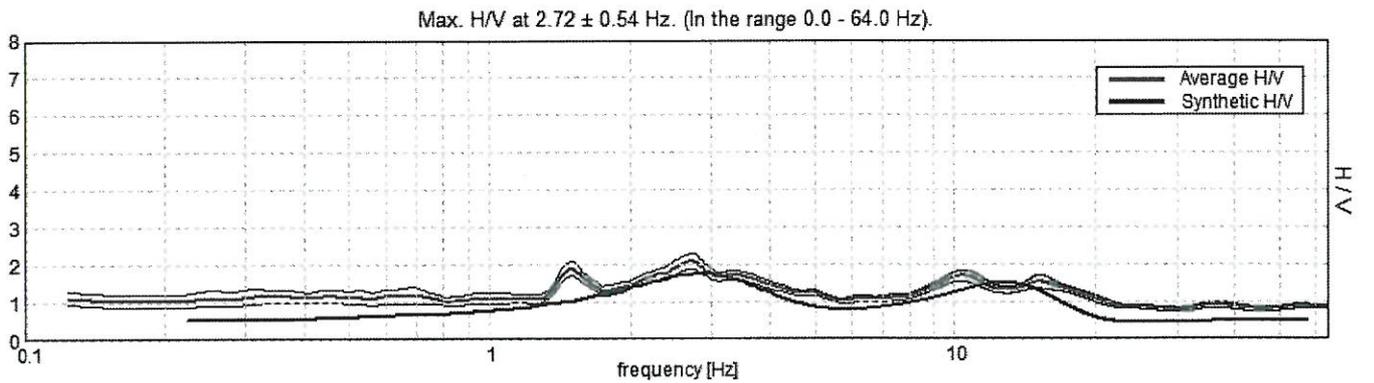
### H/V TIME HISTORY



### SINGLE COMPONENT SPECTRA

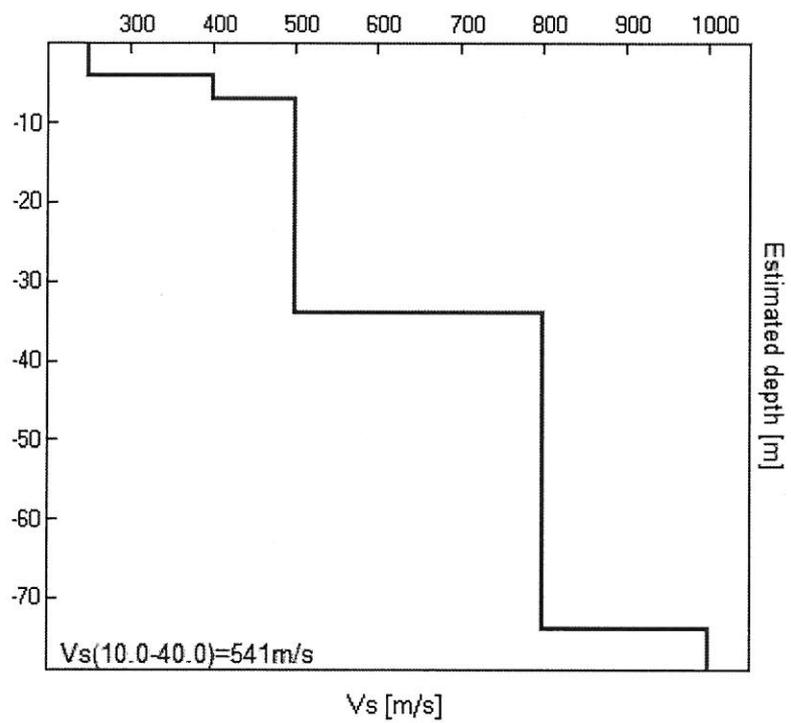


### EXPERIMENTAL VS. SYNTHETIC H/V



Depth (layer bottom) [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson Ratio
4.00	4.00	250	0.33
7.00	3.00	400	0.35
34.00	27.00	500	0.35
74.00	40.00	800	0.35
inf.	0.00	1000	0.35

**$Vs(10.0-40.0)=541m/s$**



[According to the Sesame, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

Max. H/V at  $2.72 \pm 0.54$  Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

<b>Criteria for a reliable HVSr curve</b> [All 3 should be fulfilled]			
$f_0 > 10 / L_w$	$2.72 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$2610.0 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 132 times	OK	
<b>Criteria for a clear HVSr peak</b> [At least 5 out of 6 should be fulfilled]			
Exists $f^-$ in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.875 Hz	OK	
Exists $f^+$ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	5.531 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$2.08 > 2$	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.09687  < 0.05$	NO	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.26335 < 0.13594$	NO	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.0981 < 1.58$	OK	

## FAGNANO, CIMITERO T2

Instrument: TRZ-0066/01-10

Start recording: 19/07/10 11:26:14 End recording: 19/07/10 11:42:15

Smoothing window: Triangular window

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

GPS data not available

Trace length: 0h16'00". Analysis performed on the entire trace.

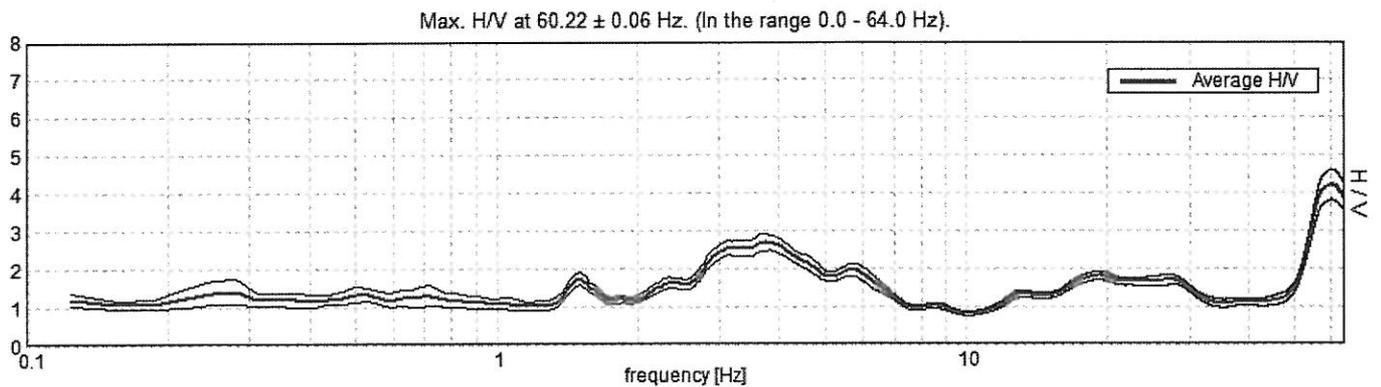
Sampling frequency: 128 Hz

Window size: 20 s

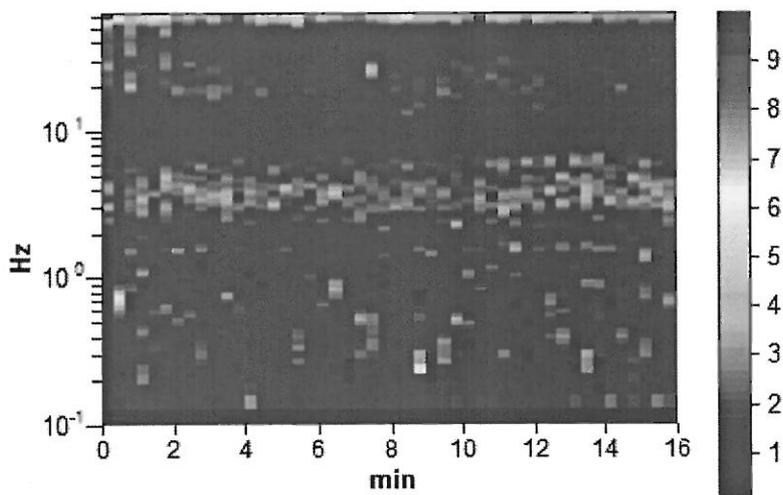
Smoothing window: Triangular window

Smoothing: 10%

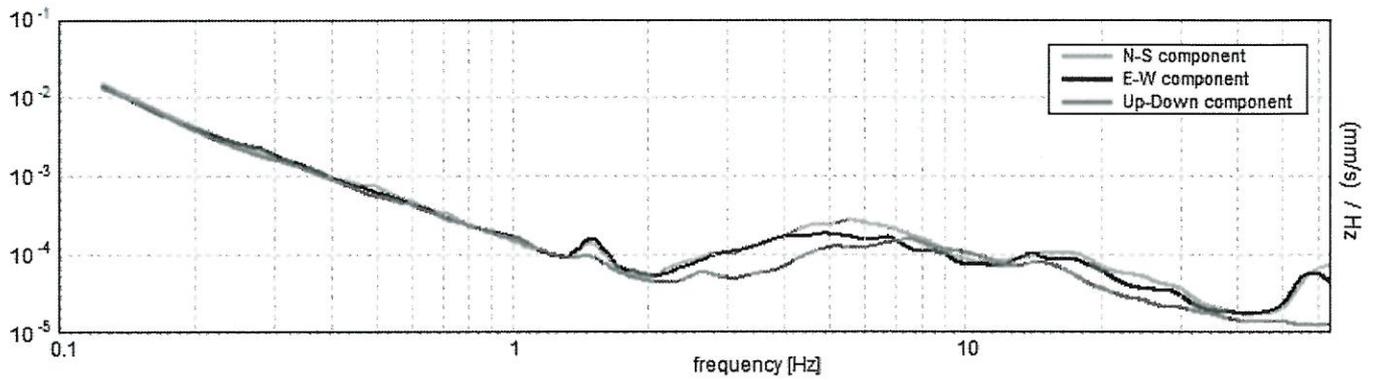
### HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



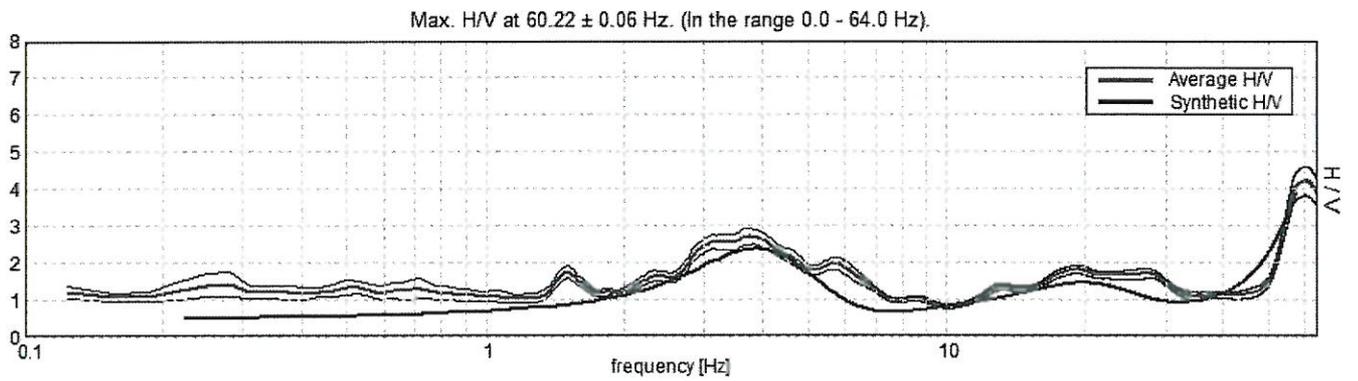
### H/V TIME HISTORY



### SINGLE COMPONENT SPECTRA

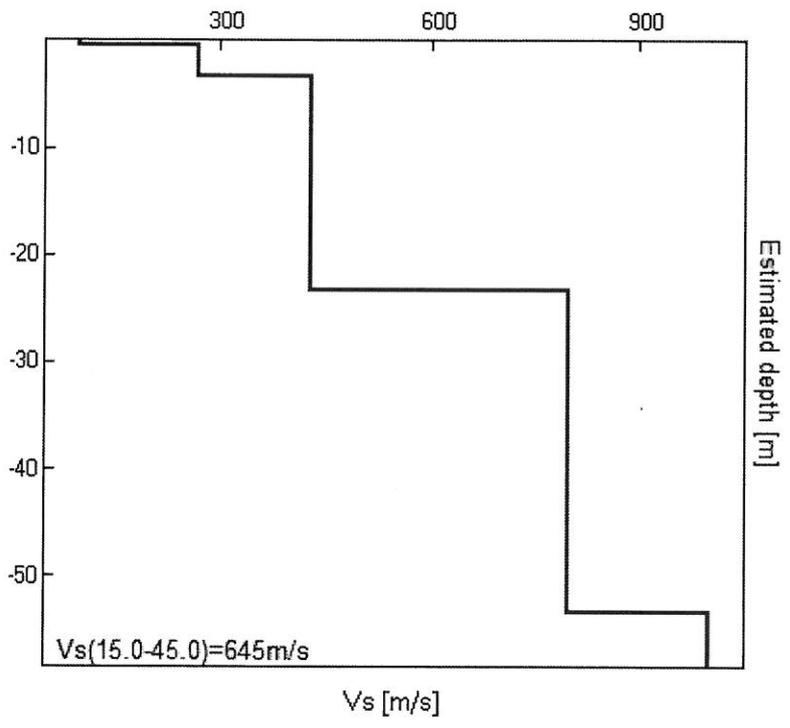


### EXPERIMENTAL VS. SYNTHETIC H/V



Depth (layer bottom) [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson Ratio
0.40	0.40	100	0.35
3.40	3.00	270	0.35
23.40	20.00	430	0.35
53.40	30.00	800	0.35
inf.	0.00	1000	0.35

**Vs(15.0-45.0)=645m/s**



[According to the Sesame, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

Max. H/V at  $60.22 \pm 0.06$  Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

**Criteria for a reliable HVSR curve**

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$60.22 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$57810.0 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 1086 times	OK	

**Criteria for a clear HVSR peak**

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	52.219 Hz	OK	
Exists $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	-1.0 Hz	NO	
$A_0 > 2$	$4.21 > 2$	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.00051  < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \epsilon(f_0)$	$0.03079 < 3.01094$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.1928 < 1.58$	OK	

## FAGNANO, CIMITERO T4

Instrument: TRZ-0066/01-10

Start recording: 19/07/10 11:54:57 End recording: 19/07/10 12:10:58

Smoothing window: Triangular window

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

GPS data not available

Trace length: 0h16'00". Analysis performed on the entire trace.

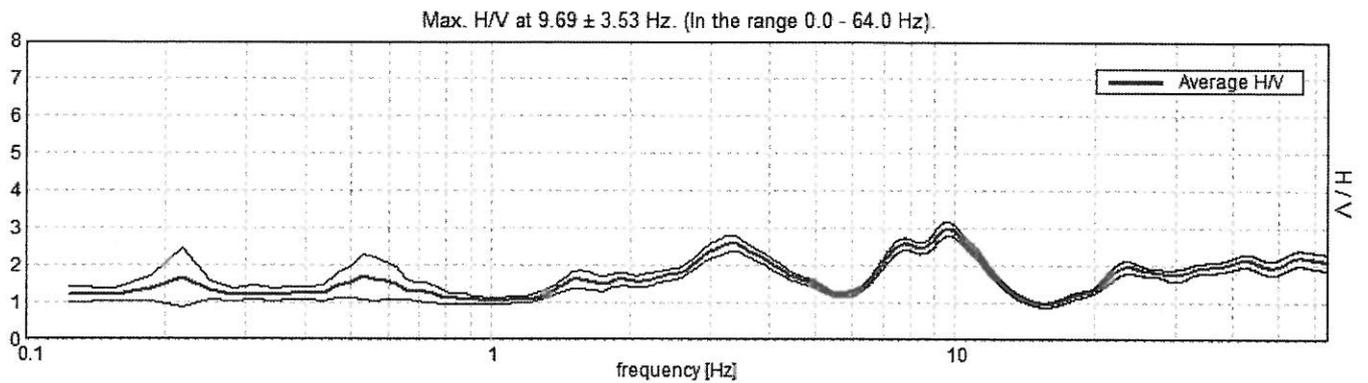
Sampling frequency: 128 Hz

Window size: 20 s

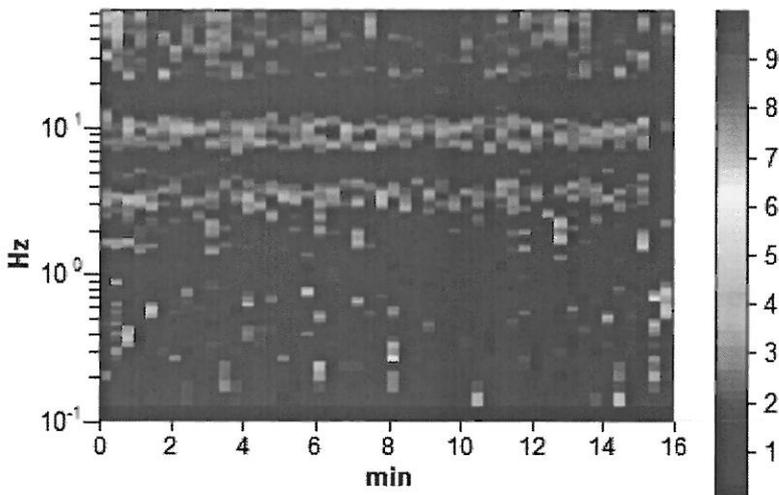
Smoothing window: Triangular window

Smoothing: 10%

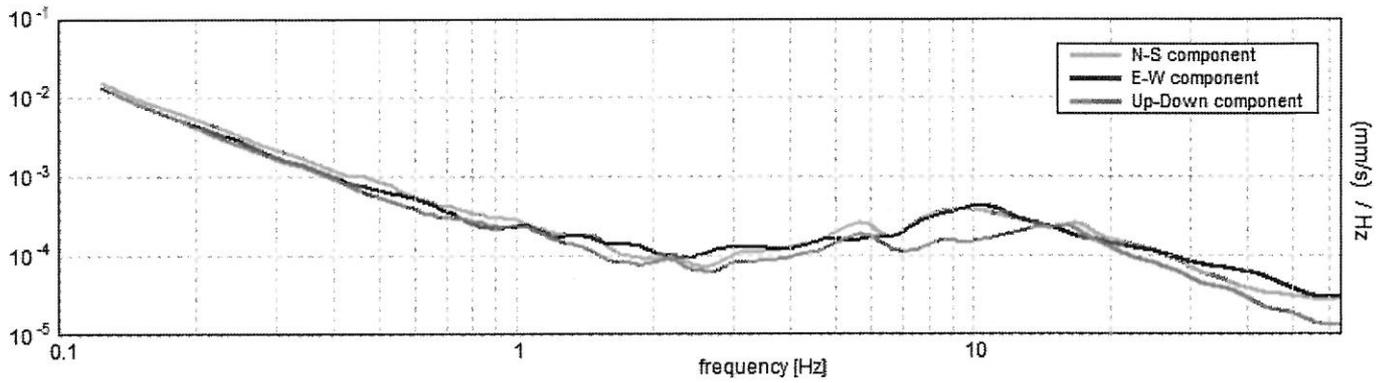
### HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



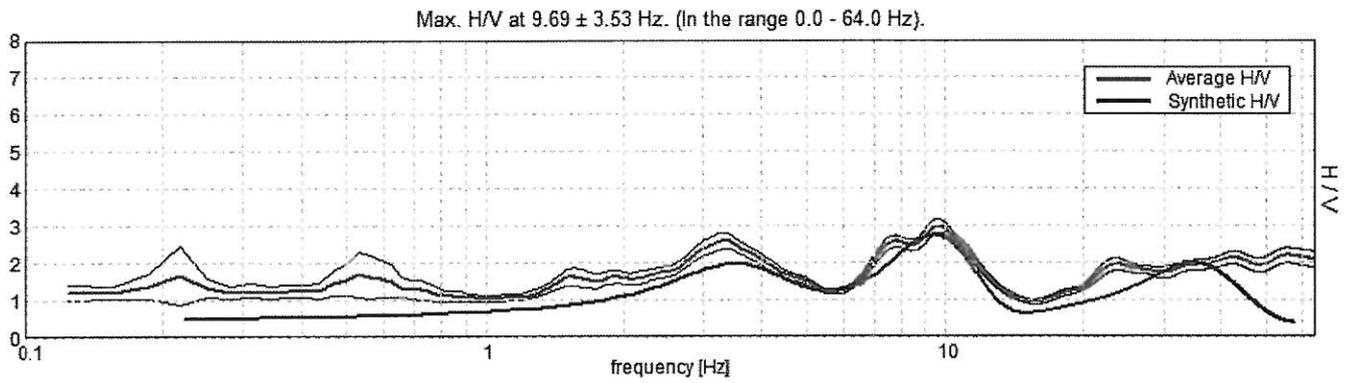
### H/V TIME HISTORY



### SINGLE COMPONENT SPECTRA

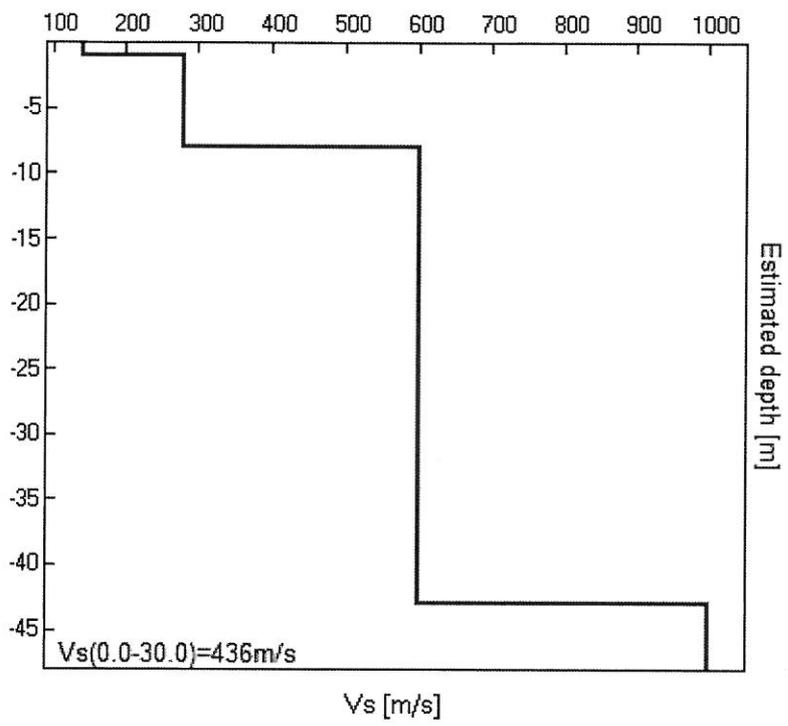


### EXPERIMENTAL VS. SYNTHETIC H/V



Depth (layer bottom) [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson Ratio
1.00	1.00	140	0.37
8.00	7.00	280	0.35
43.00	35.00	600	0.35
inf.	0.00	1000	0.35

$V_s(0.0-30.0)=436\text{m/s}$



[According to the Sesame, 2005 guidelines. **Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.**]

Max. H/V at  $9.69 \pm 3.53$  Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

<b>Criteria for a reliable HVSR curve</b> [All 3 should be fulfilled]			
$f_0 > 10 / L_w$	$9.69 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$9300.0 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 466 times	OK	
<b>Criteria for a clear HVSR peak</b> [At least 5 out of 6 should be fulfilled]			
Exists $f^-$ in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	6.438 Hz	OK	
Exists $f^+$ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	12.688 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$2.98 > 2$	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.17926  < 0.05$	NO	
$\sigma_f < \epsilon(f_0)$	$1.73657 < 0.48438$	NO	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.0946 < 1.58$	OK	

### FAGNANO, CIMITERO T3

Instrument: TRZ-0066/01-10

Start recording: 19/07/10 12:21:35 End recording: 19/07/10 12:37:36

Smoothing window: Triangular window

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

GPS data not available

Trace length: 0h16'00". Analyzed 96% trace (manual window selection)

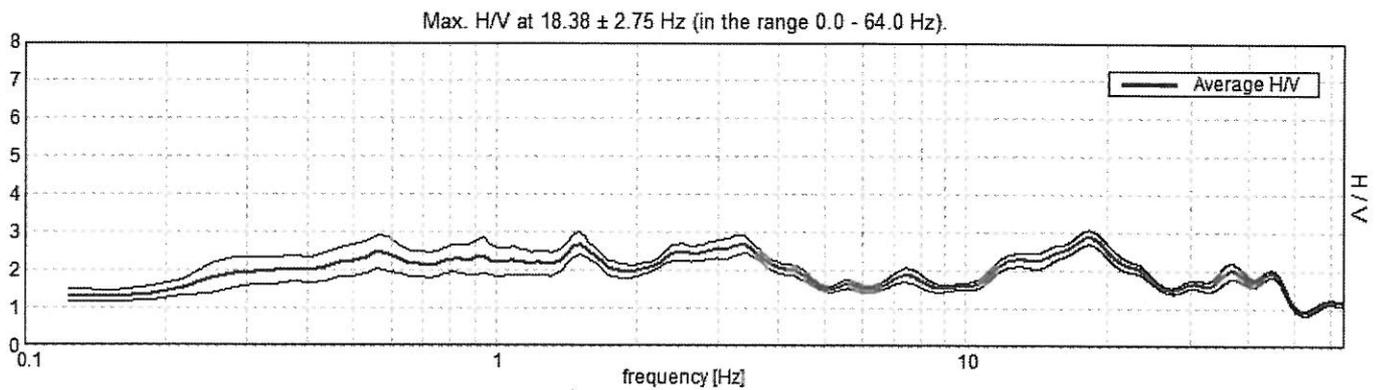
Sampling frequency: 128 Hz

Window size: 20 s

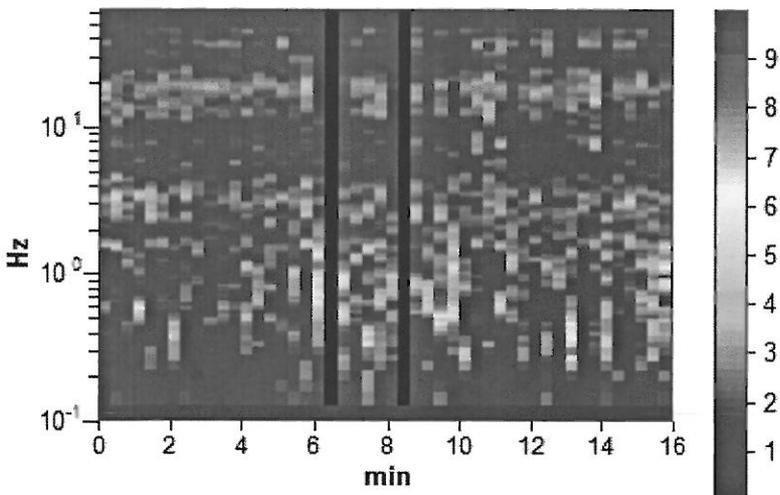
Smoothing window: Triangular window

Smoothing: 10%

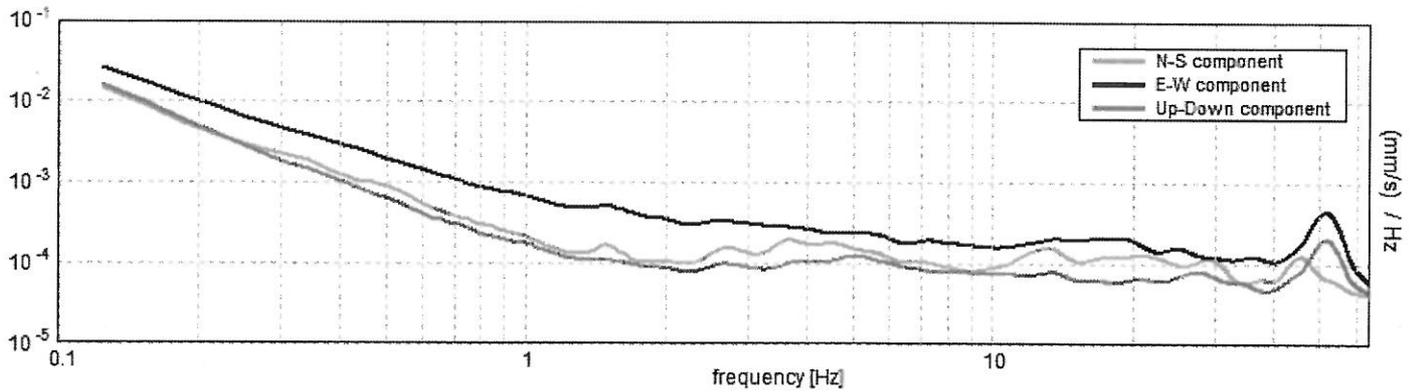
### HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



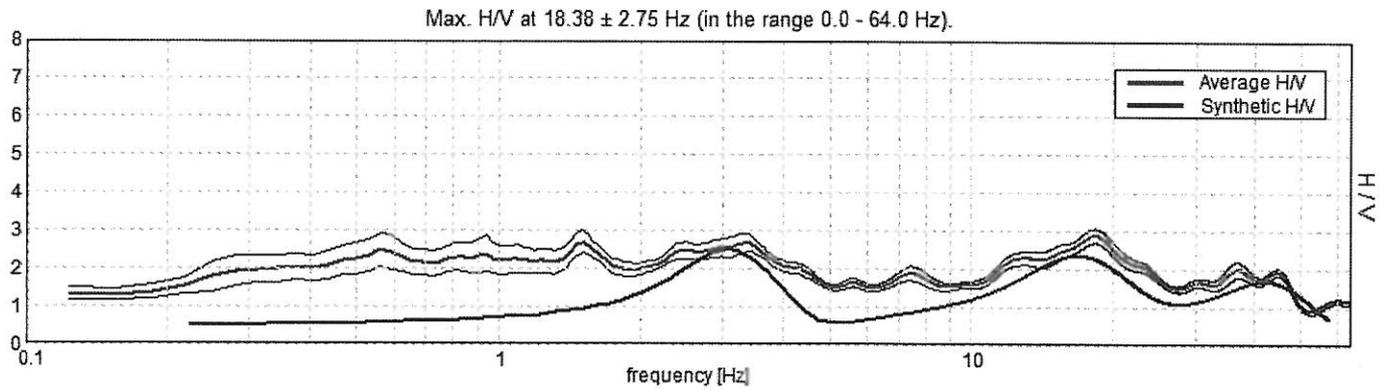
### H/V TIME HISTORY



### SINGLE COMPONENT SPECTRA

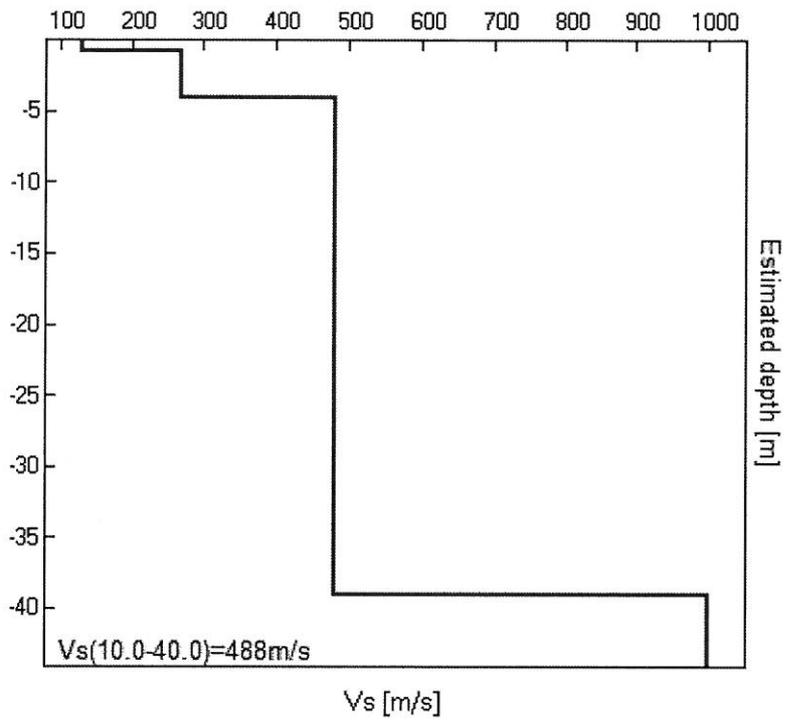


### EXPERIMENTAL VS. SYNTHETIC H/V



Depth (layer bottom) [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson Ratio
0.80	0.80	130	0.35
4.10	3.30	270	0.35
39.10	35.00	480	0.35
inf.	0.00	1000	0.35

**$V_s(10.0-40.0)=488\text{m/s}$**



[According to the Sesame, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

Max. H/V at  $18.38 \pm 2.75$  Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

<b>Criteria for a reliable HVSR curve</b> [All 3 should be fulfilled]			
$f_0 > 10 / L_w$	$18.38 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$16905.0 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 883 times	OK	
<b>Criteria for a clear HVSR peak</b> [At least 5 out of 6 should be fulfilled]			
Exists $f^-$ in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	-1.0 Hz	NO	
Exists $f^+$ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	48.0 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$2.87 > 2$	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.0735  < 0.05$	NO	
$\sigma_f < \epsilon(f_0)$	$1.35054 < 0.91875$	NO	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.0915 < 1.58$	OK	

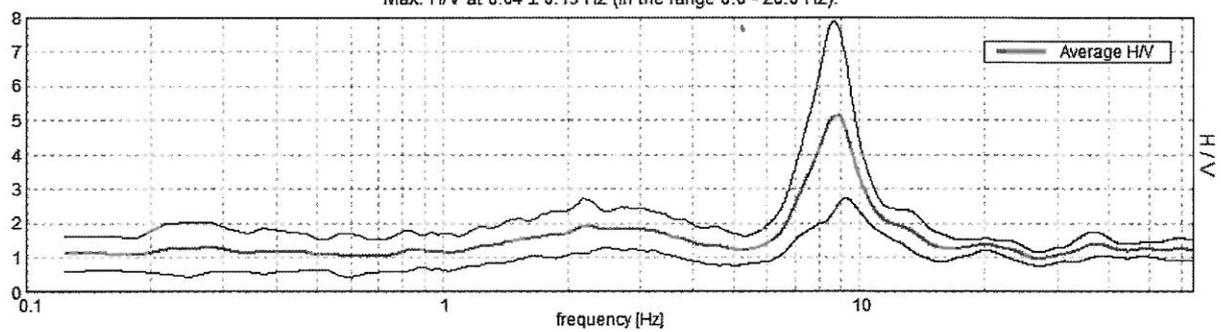
### BORGIO SANTA MARIA, BORGIO SANTA MARIA 1

Instrument: TRZ-0066/01-10  
Start recording: 19/07/10 09:15:12      End recording: 19/07/10 09:45:13  
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN  
GPS data not available

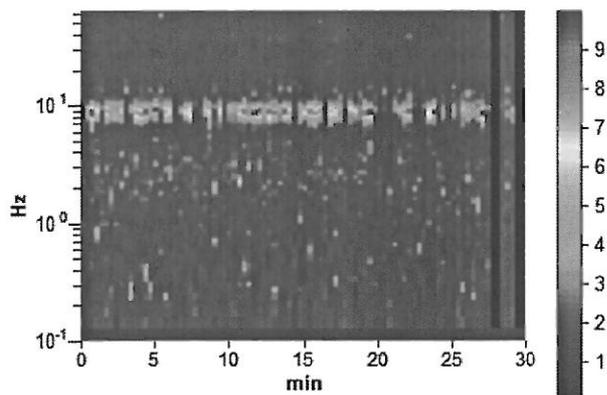
Trace length: 0h30'00".      Analyzed 96% trace (manual window selection)  
Sampling rate: 128 Hz  
Window size: 20 s  
Smoothing type: Triangular window  
Smoothing: 10%

#### HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

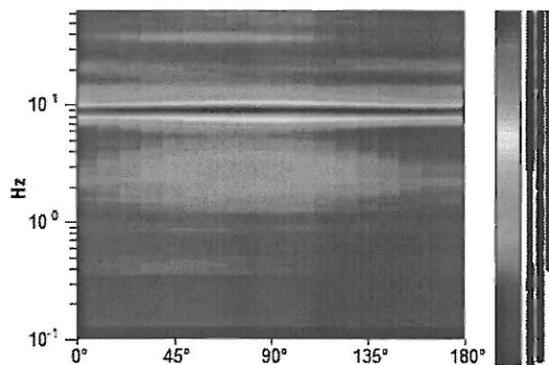
Max. H/V at  $8.84 \pm 0.19$  Hz (in the range 0.0 - 20.0 Hz).



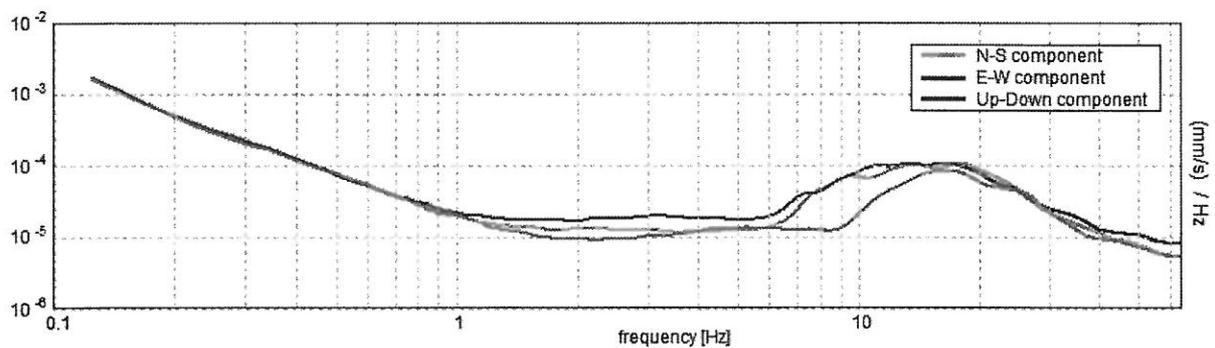
#### H/V TIME HISTORY



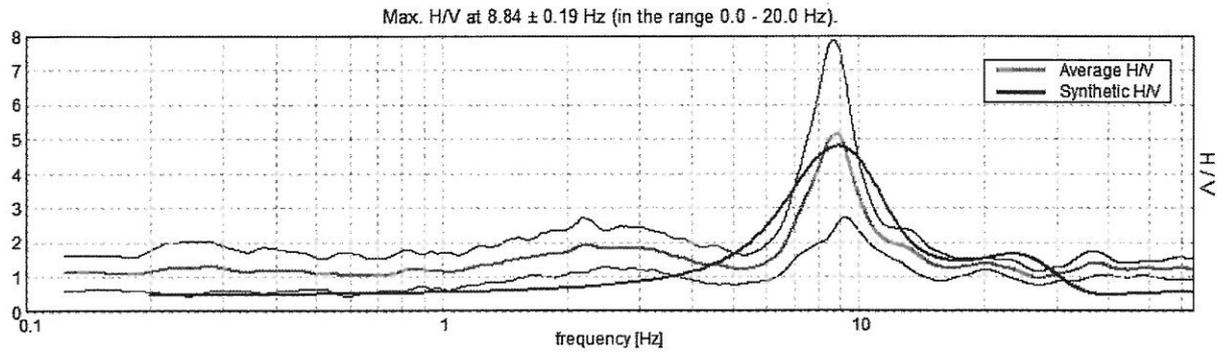
#### DIRECTIONAL H/V



#### SINGLE COMPONENT SPECTRA

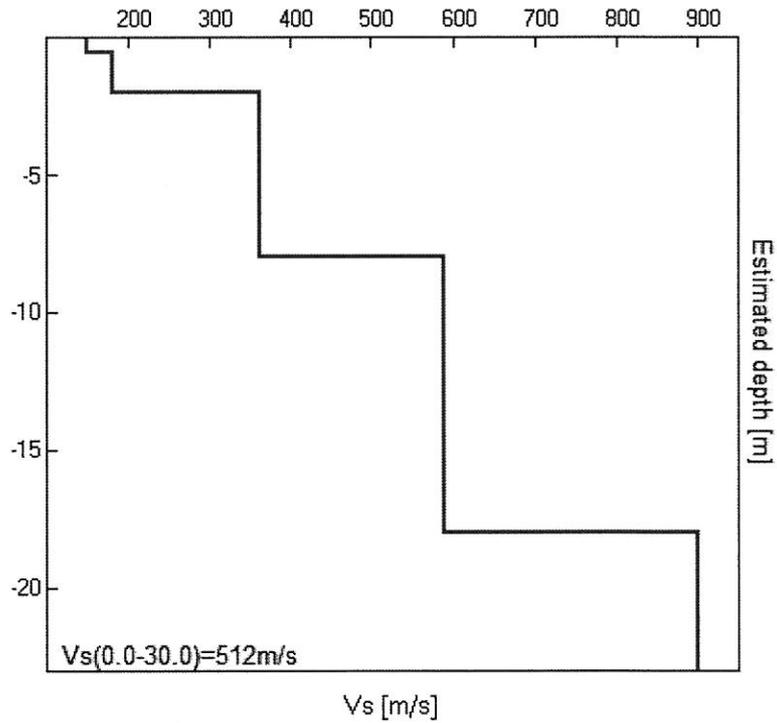


EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
0.50	0.50	150	0.35
2.00	1.50	180	0.35
8.00	6.00	360	0.35
18.00	10.00	590	0.35
inf.	inf.	900	0.35

Vs(0.0-30.0)=512m/s



[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

Max. H/V at 8.84 ± 0.19 Hz (in the range 0.0 - 20.0 Hz).

**Criteria for a reliable H/V curve**

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	8.84 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	15211.3 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 45 out of 426 times		NO

**Criteria for a clear H/V peak**

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	7.031 Hz	OK	
Exists $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	10.688 Hz	OK	
$A_0 > 2$	5.14 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.01048  < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.09272 < 0.44219	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.319 < 1.58	OK	

$L_w$	window length
$n_w$	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
$f$	current frequency
$f_0$	H/V peak frequency
$\sigma_f$	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	H/V peak amplitude at frequency $f_0$
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency $f$
$f^-$	frequency between $f_0/4$ and $f_0$ for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequency between $f_0$ and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for  $\sigma_f$  and  $\sigma_A(f_0)$

Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 $f_0$	0.2 $f_0$	0.15 $f_0$	0.10 $f_0$	0.05 $f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

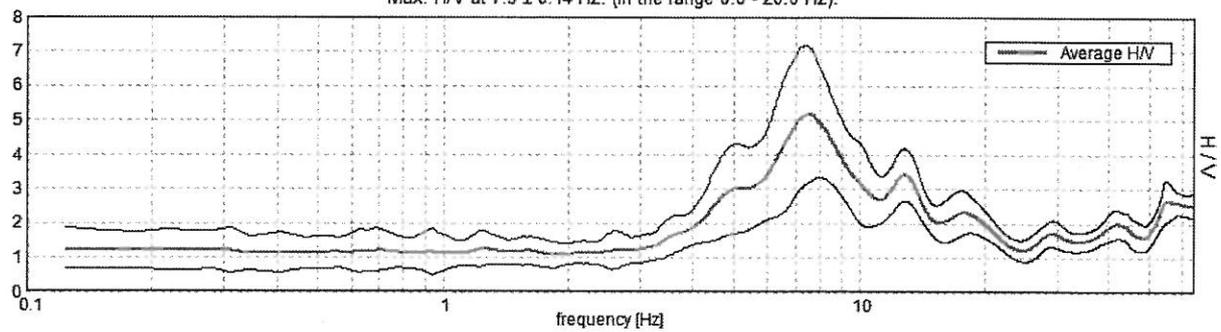
## BORGIO SANTA MARIA, BORGIO SANTA MARIA 2

Instrument: TRZ-0066/01-10  
Start recording: 19/07/10 09:51:30      End recording: 19/07/10 10:21:31  
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN  
GPS data not available

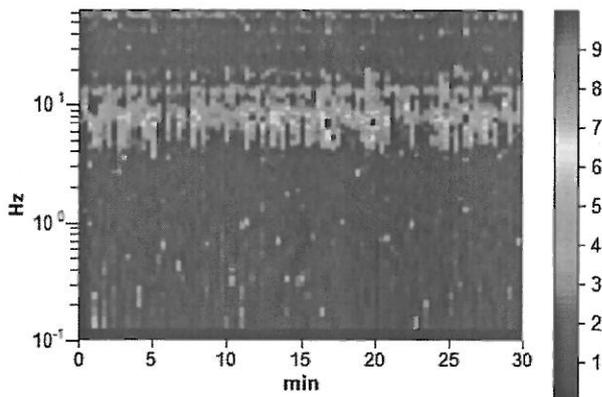
Trace length: 0h30'00".      Analysis performed on the entire trace.  
Sampling rate: 128 Hz  
Window size: 20 s  
Smoothing type: Triangular window  
Smoothing: 10%

### HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

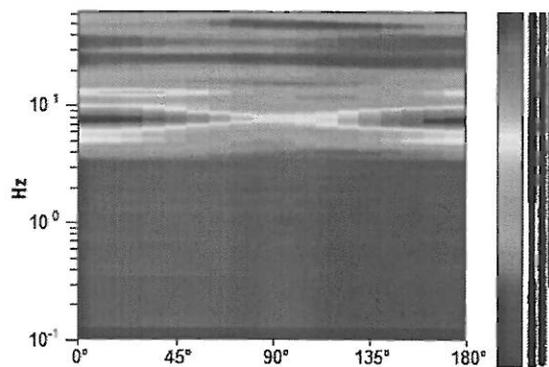
Max. H/V at  $7.5 \pm 0.14$  Hz. (In the range 0.0 - 20.0 Hz).



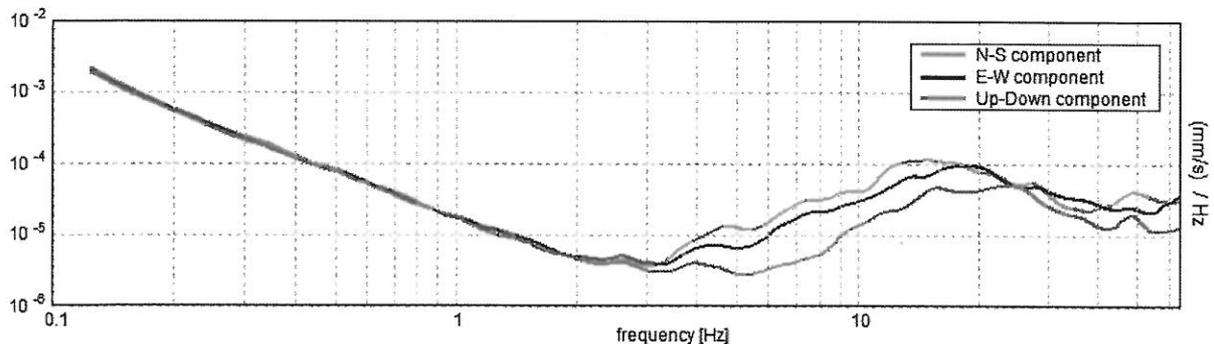
### H/V TIME HISTORY



### DIRECTIONAL H/V



### SINGLE COMPONENT SPECTRA



[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

**Max. H/V at  $7.5 \pm 0.14$  Hz (in the range 0.0 - 20.0 Hz).**

<b>Criteria for a reliable H/V curve</b> [All 3 should be fulfilled]			
$f_0 > 10 / L_w$	$7.50 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$13500.0 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 27 out of 361 times		NO
<b>Criteria for a clear H/V peak</b> [At least 5 out of 6 should be fulfilled]			
Exists $f^-$ in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	4.531 Hz	OK	
Exists $f^+$ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	14.156 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$5.16 > 2$	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.0093  < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.06978 < 0.375$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$1.004 < 1.58$	OK	

$L_w$	window length
$n_w$	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
$f$	current frequency
$f_0$	H/V peak frequency
$\sigma_f$	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	H/V peak amplitude at frequency $f_0$
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency $f$
$f^-$	frequency between $f_0/4$ and $f_0$ for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequency between $f_0$ and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for $\sigma_f$ and $\sigma_A(f_0)$					
Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

## **METODO SISMICO A RIFRAZIONE**

E' il metodo più diffuso e meglio conosciuto: si basa sulla registrazione, mediante una serie di sensori (geofoni), del tempo di arrivo della prima onda sismica longitudinale ( $V_p$ ).

L'apparecchiatura necessaria per questo tipo di prospezioni è costituita da una serie di geofoni (generalmente in numero di 12 o 24) che vengono spazati regolarmente lungo un determinato allineamento (stendimento) di lunghezza proporzionale alla profondità di indagine, e da un apparecchio di registrazione che permette di memorizzare l'istante di partenza della perturbazione ed i tempi di arrivo delle onde a ciascun geofono. La registrazione, sia del momento dell'esplosione che del segnale amplificato da ciascun geofono, avviene simultaneamente su un unico diagramma (sismogramma).

Il metodo sismico a rifrazione permette quindi, mediante la generazione di onde elastiche longitudinali ( $V_p$ ) in un punto del terreno ed il loro arrivo in superficie ai geofoni, la ricostruzione di diagrammi distanze-tempi (dromocrone) dai quali è possibile ottenere, con una successiva fase di calcolo automatico le velocità e profondità delle interfacce profonde, nonché la disposizione geometrica dei litotipi presenti nel sottosuolo investigato. I tempi rifratti si riferiscono ad onde sismiche longitudinali ( $V_p$ ) che incidono con "angolo critico" la superficie di separazione di due mezzi a velocità diverse e crescenti verso il basso (ad esempio due strati  $S_1$  e  $S_2$  aventi velocità  $V_1$  e  $V_2$ , con  $V_2 > V_1$ ). Queste onde possono propagarsi lungo tale interfaccia e tornare in superficie fornendo informazioni sugli spessori, sulle variazioni degli stessi, sulle velocità dei due mezzi e sulla pendenza dell'interfaccia, proprio perché la velocità e le direzioni di propagazione delle onde sismiche sono strettamente dipendenti dalle caratteristiche fisico-meccaniche dei materiali attraversati e dalla presenza di eventuali superfici di discontinuità separanti litotipi con diverso comportamento elasto-meccanico.

A titolo indicativo si forniscono (Tab. 1) alcuni valori di velocità per le onde di compressione. Si può osservare che il campo di variazione per uno stesso litotipo è ampio proprio perché la velocità dipende, oltre che dai parametri elastici intrinseci di

ciascun litotipo, anche da numerosi altri fattori come ad esempio il grado di litificazione, la porosità, la tessitura, il contenuto di fluidi ecc.

Tab. 1

<b>MEZZO DI PROPAGAZIONE</b>	<b>Vp (Km/s)</b>
<i>Acqua dolce</i>	1,45
<i>Areato superficiale</i>	0,3 ÷ 0,8
<i>Limi</i>	0,2 ÷ 0,6
<i>Alluvioni secche</i>	0,6 ÷ 1,2
<i>Alluvioni umide</i>	1,6 ÷ 2,4
<i>Argille</i>	1,8 ÷ 2,2
<i>Tufi</i>	1,8 ÷ 2,5
<i>Marne</i>	2 ÷ 3
<i>Arenarie</i>	2 ÷ 3,5
<i>Lave</i>	2,5 ÷ 4
<i>Calcari e dolomie</i>	3 ÷ 5
<i>Scisti e micascisti</i>	3 ÷ 4,5
<i>Gneiss</i>	3,5 ÷ 5
<i>Granito</i>	4 ÷ 6

## ACQUISIZIONE DEI DATI SISMICI

L'acquisizione dei dati è stata effettuata con un sismografo "Echo 12-24/2002 Seismic Unit" a 24/12 canali con la seguente strumentazione a corredo:

- N 12 geofoni verticali a 14 Hz mod. OYO GS20-DX;
- N 1 cavi sismici con 12 takes-out;
- Mazza di battuta da 8 Kg con starter e piastra in alluminio, utilizzate per creare il punto di energizzazione.

Nella fase di acquisizione il prospettore geologo, coadiuvato da un aiuto prospettore, ha verificato in ogni istante, l'operatività della strumentazione, utilizzando i parametri di acquisizione (geometria dello stendimento, frequenza, intervallo di campionamento, ecc.) ottimali per il sito in esame.

La soglia di frequenza di filtro del segnale è stata continuamente verificata ed impostata in modo da eliminare le fonti di disturbo procedendo, se necessario, a migliorare il rapporto segnale/rumore.

I parametri di acquisizione utilizzati sono i seguenti:

PROFILO SISMICO A RIFRAZIONE DA 60 ML	
<i>N° canali di registrazione</i>	12
<i>Distanza intergeofonica</i>	5 m
<i>N° scoppi</i>	3
<i>Frequenza filtro (Hz)</i>	400
<i>Sistema di energizzazione (mazza)</i>	8 kg

Le registrazioni delle tracce sismiche, sono state visualizzate direttamente in campagna, ove sono state eseguite le letture preliminari dei tempi di arrivo, successivamente elaborate con apposito software.

## ELABORAZIONE DEI DATI

I sismogrammi sono stati opportunamente interpretati ed elaborati, in modo da ottenere i tempi di arrivo delle onde sismiche per i diversi ricevitori; con i dati distanza-tempi di arrivo delle onde sono state costruite le dromocrone delle fasi P, riportate in allegato.

Le dromocrone relative alle sezioni sismiche sono state elaborate con il metodo del tempo intercetta, di seguito brevemente descritto.

### METODO DEL TEMPO INTERCETTA

L'equazione dei tempi di arrivo ai ricevitori (geofoni)  $T_{ST}$  per il modello più semplice di due strati  $S_1$  e  $S_2$  aventi velocità sismiche  $V_1$  e  $V_2$  tali che  $V_2 > V_1$  ed avente superficie di interstrato parallela al piano campagna è data:

$$T_{ST} = (1/V_2) Z_{ST} + 2 Z_1 (V_2^2 - V_1^2)^{1/2} / (V_1 V_2)$$

Con  $Z_{ST}$  = distanza sorgente–ricevitore e  $Z_1$  = profondità del rifrattore;  
il tempo intercetta  $T_i$  è dato quindi da:

$$T_i = 2 Z_1 (V_2^2 - V_1^2)^{1/2} / V_1 V_2$$

da cui:

$$Z_1 = (T_i V_1 V_2) / 2 (V_2^2 - V_1^2)^{1/2}$$

Nelle equazioni precedenti si assume di conoscere il valore di  $V_2$  che può essere derivato facilmente dalle dromocrone nel caso di un rifrattore piano e non inclinato; in questo caso infatti  $V_2$  è pari all'inverso della pendenza della curva dei raggi rifratti (vedi fig.1).

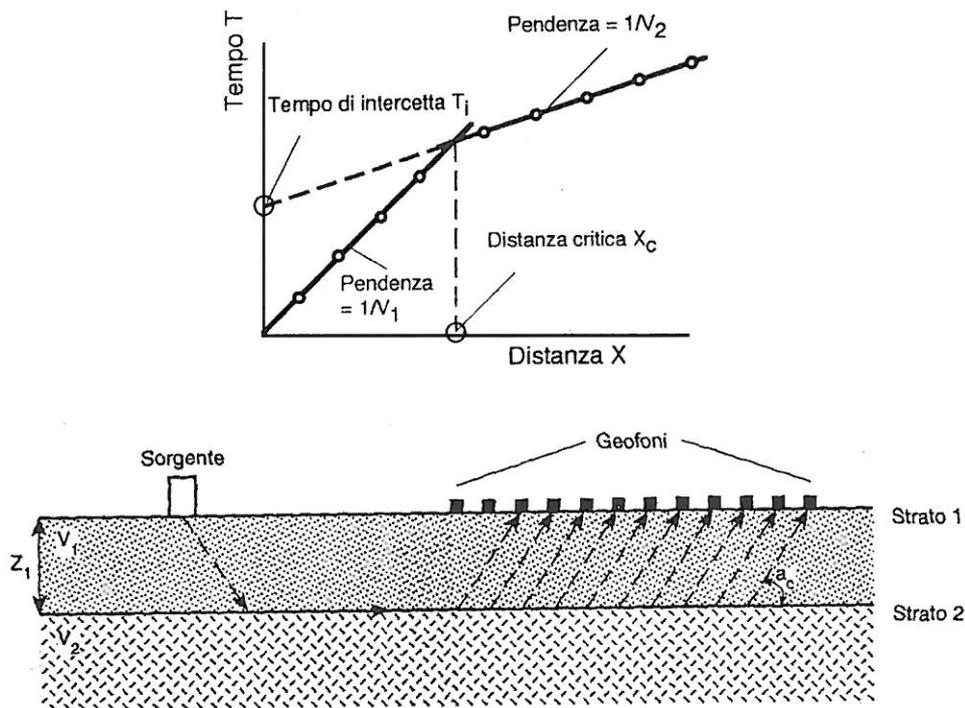


Fig.1 Modello di rifrattore piano parallelo e relativo grafico dei tempi di arrivo / distanze (in alto)

Il tempo intercetta  $T_i$  può essere ottenuto graficamente, direttamente dalle dromocrone (vedi fig.1).

Nel caso di un rifrattore inclinato di un angolo  $\lambda$  le velocità registrate in superficie per lo strato profondo, per punti di scoppio simmetricamente disposti, sono apparenti (avendo le onde percorso tragitti non proporzionali) e possono variare significativamente con l'inclinazione del rifrattore.

Come evidenziato dalla fig.2 la pendenza iniziale delle curve è uguale perciò il valore di  $V_1$  è ben calcolato, mentre è incerto il valore di  $V_2$  ottenendo  $V_{2U}$  e  $V_{2D}$ .

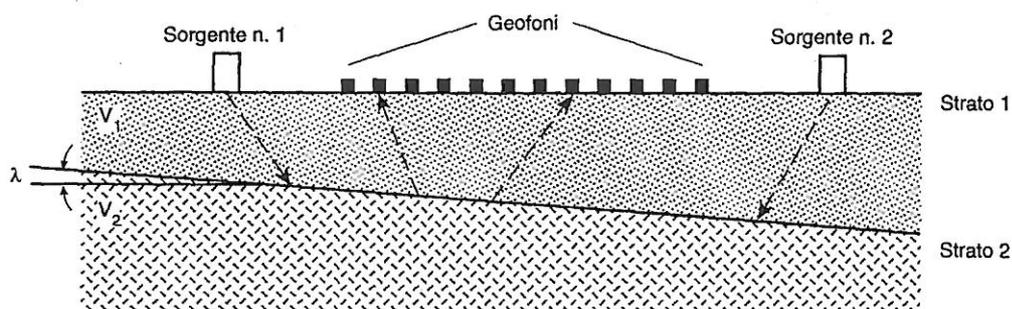
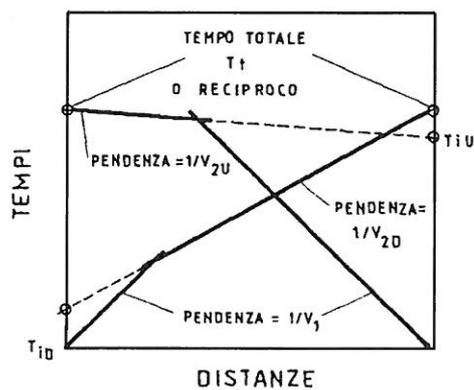


Fig.2 Modello di rifrattore piano inclinato e relativo grafico dei tempi di arrivo / distanze (in alto)

Il valore reale  $V_2$  della velocità del sismostrato è dato da:

$$V_2 = [(2 V_{2U} V_{2D}) / (V_{2U} + V_{2D})] \cos \lambda$$

## ANALISI DEI RISULTATI

L'interpretazione dei dati è stata effettuata mediante software WINSISM 10; il profilo sismico è stato elaborato con il metodo del tempo intercetta ed in particolare si è riusciti a costruire il modello più probabile tenendo conto dei fattori oggettivi dedotti sulla base dei caratteri geologici noti per il sito in esame.

### SEZIONE SISMICA SS1 (60 ML)

Lungo il profilo sismico SS1 sono stati riconosciuti tre orizzonti significativi aventi differenti caratteristiche elasto-meccaniche.

In particolare è stato individuato un orizzonte superficiale, di spessore variabile da circa 0,93 a 1,04 m e velocità delle onde sismiche di compressione ( $V_p$ ) di 227 ÷ 320 m/s; si tratta di un intervallo caratterizzato da proprietà elasto-meccaniche scadenti, considerate le velocità sismiche e gli spessori, correlabile ad un livello di copertura areato.

Al di sotto si riscontra invece un intervallo caratterizzato da velocità delle onde sismiche longitudinali compresa tra 695 e 714 m/s e spessore compreso tra 4,97 e 5,67 m, a testimonianza di un miglioramento delle caratteristiche elasto-meccaniche.

L'ultimo sismostrato individuato mostra invece velocità delle onde di compressione ( $V_p$ ) di 2.206 ÷ 2.262 m/s.

SISMOSTRATO	SPESSORE	VELOCITÀ DELLE ONDE
SISMOSTRATO 1	<i>da p.c. a 0,93 ÷ 1,04 m</i>	$V_p = 227 \div 320 \text{ m/s}$
SISMOSTRATO 2	<i>da 0,93 ÷ 1,04 m a 4,97 ÷ 5,67 m</i>	$V_p = 695 \div 714 \text{ m/s}$
SISMOSTRATO 3	<i>da 4,97 ÷ 5,67 m ad indefinito</i>	$V_p = 2.206 \div 2.262 \text{ m/s}$

### SEZIONE SISMICA SS2 (60 ML)

Anche lungo il profilo sismico SS2 sono stati riconosciuti tre orizzonti.

In particolare è stato individuato un orizzonte superficiale, di spessore variabile da circa 0,69 a 1,07 m e velocità delle onde sismiche di compressione ( $V_p$ ) di  $247 \div 282$  m/s; si tratta di un intervallo caratterizzato da proprietà elasto-meccaniche scadenti, considerate le velocità sismiche e gli spessori, correlabile ad un livello di copertura areato.

Al di sotto si riscontra invece un intervallo caratterizzato da velocità delle onde sismiche longitudinali compresa tra 603 e 852 m/s e spessore compreso tra 5,13 e 5,85 m, a testimonianza di un miglioramento delle caratteristiche elasto-meccaniche.

L'ultimo sismostrato individuato mostra invece velocità delle onde di compressione ( $V_p$ ) di  $2.053 \div 2.336$  m/s.

<b>SISMOSTRATO</b>	<b>SPESSORE</b>	<b>VELOCITÀ DELLE ONDE</b>
SISMOSTRATO 1	<i>da p.c. a 0,69 ÷ 1,07 m</i>	$V_p = 247 \div 282$ m/s
SISMOSTRATO 2	<i>da 0,69 ÷ 1,07 m a 5,13 ÷ 5,85 m</i>	$V_p = 603 \div 852$ m/s
SISMOSTRATO 3	<i>da 5,13 ÷ 5,85 m ad indefinito</i>	$V_p = 2.053 \div 2.336$ m/s

## PARAMETRI ELASTICI

La tecnica della sismica a rifrazione, consente la possibilità di ricavare in modo empirico alcuni parametri elastici (quali ad esempio la densità  $\rho$ , il modulo di Young E ecc.) degli orizzonti indagati. È opportuno però precisare che i parametri elastici calcolati rappresentano dei valori medi riferiti ad un volume significativo del terreno che può presentare variazioni puntuali sensibili; perciò i dati qui di seguito riportati, ricavati da formule empiriche, hanno soltanto un valore indicativo.

### PARAMETRI ELASTICI PER LO STENDIMENTO SS1

SISMOSTRATO	Vp <sub>m</sub> (m/s)	Vs <sub>m</sub> (m/s)	DENSITÀ (Kg/m <sup>3</sup> )	MODULO DI TAGLIO (Kg/cm <sup>2</sup> )	MODULO DI INCOMPRESSIBILITA' (Kg/cm <sup>2</sup> )	MODULO DI YOUNG (Kg/cm <sup>2</sup> )	MODULO DI POISSON
SISMOSTRATO 1	274	192	1259	472	335,29	963,63	0,021
SISMOSTRATO 2	705	423	1594	2902	4206,03	7091,36	0,219
SISMOSTRATO 3	2234	893	2127	17295	85260,10	48598,26	0,405

### PARAMETRI ELASTICI PER LO STENDIMENTO SS2

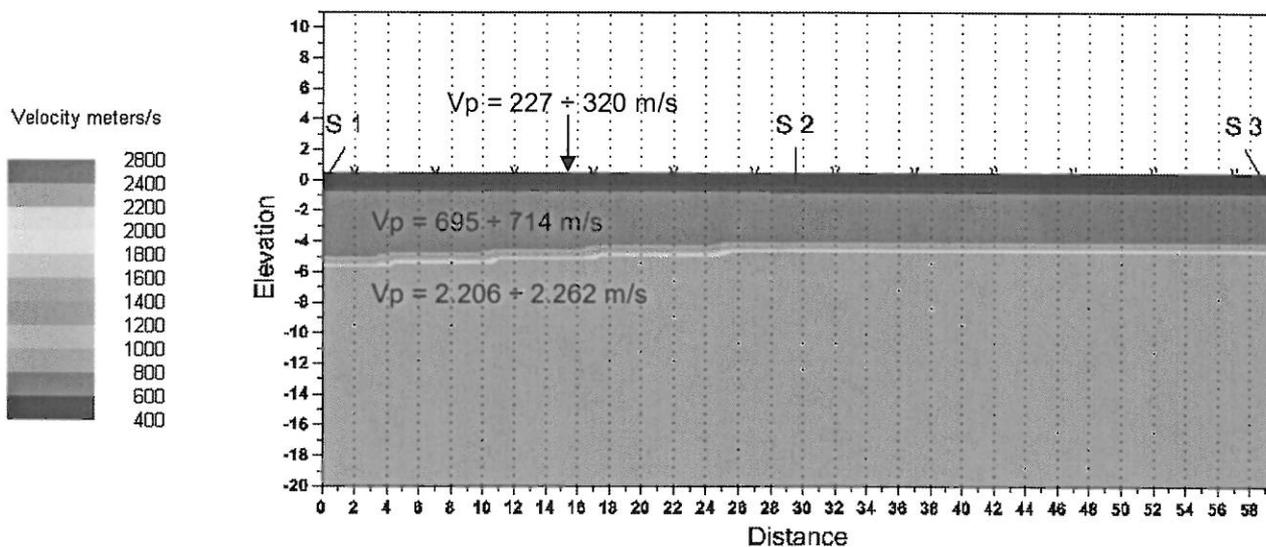
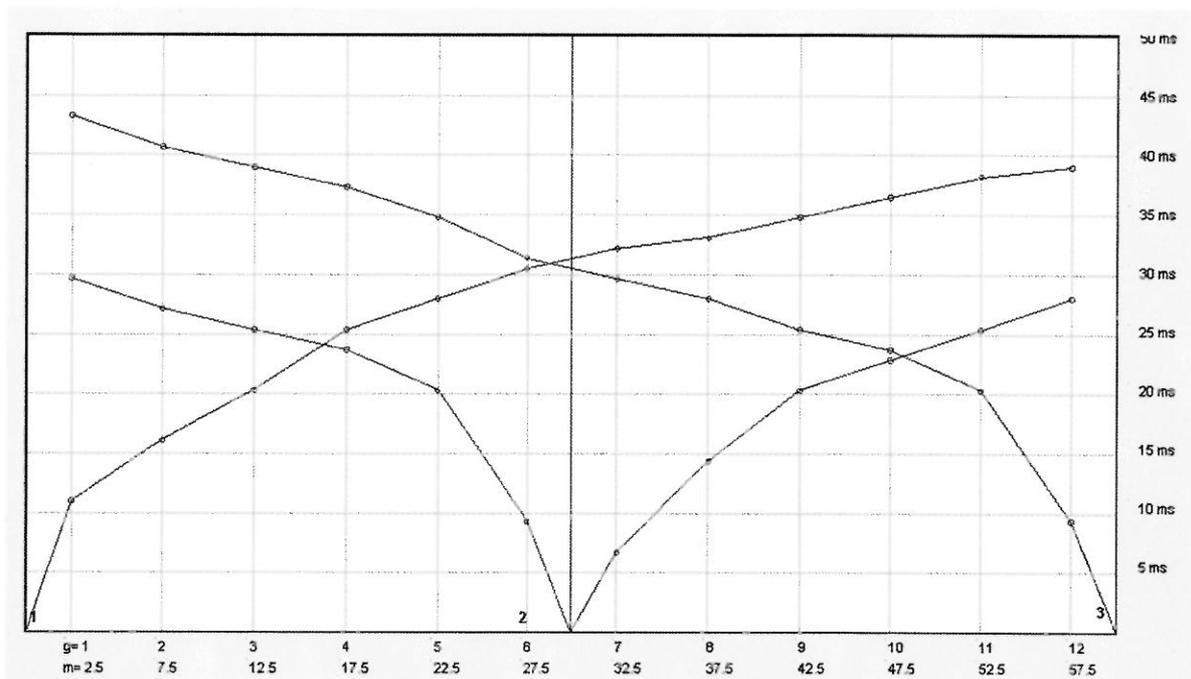
SISMOSTRATO	Vp <sub>m</sub> (m/s)	Vs <sub>m</sub> (m/s)	DENSITÀ (Kg/m <sup>3</sup> )	MODULO DI TAGLIO (Kg/cm <sup>2</sup> )	MODULO DI INCOMPRESSIBILITA' (Kg/cm <sup>2</sup> )	MODULO DI YOUNG (Kg/cm <sup>2</sup> )	MODULO DI POISSON
SISMOSTRATO 1	265	185	1248	438	310,89	893,49	0,021
SISMOSTRATO 2	728	437	1607	3127	4521,52	7623,27	0,219
SISMOSTRATO 3	2195	877	2118	16626	81960,96	46717,75	0,405

Rende, luglio 2010

IL TECNICO

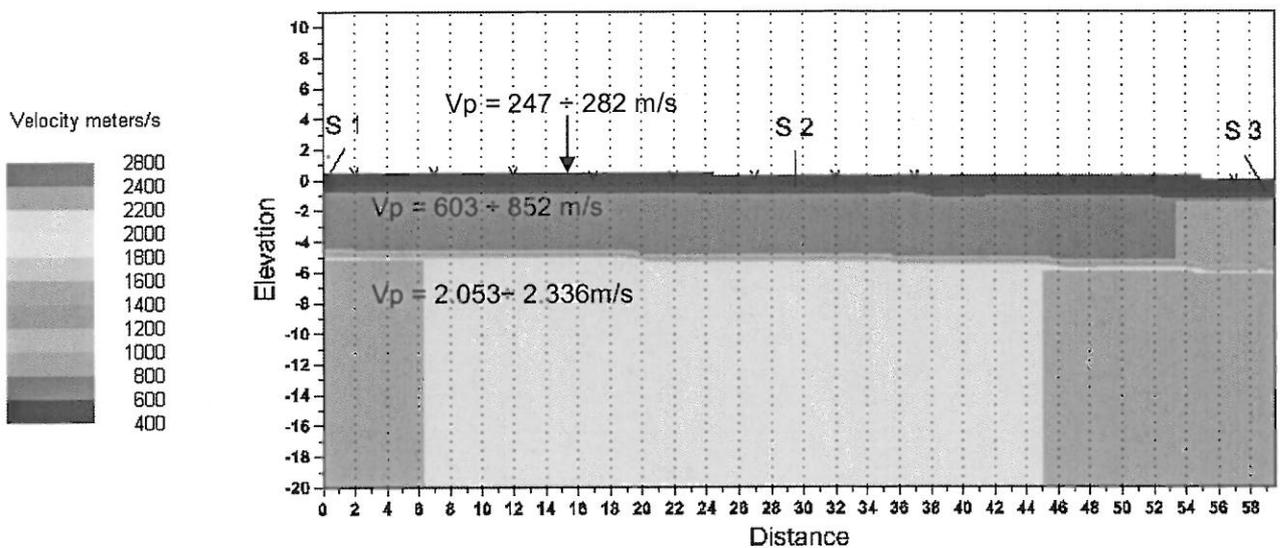
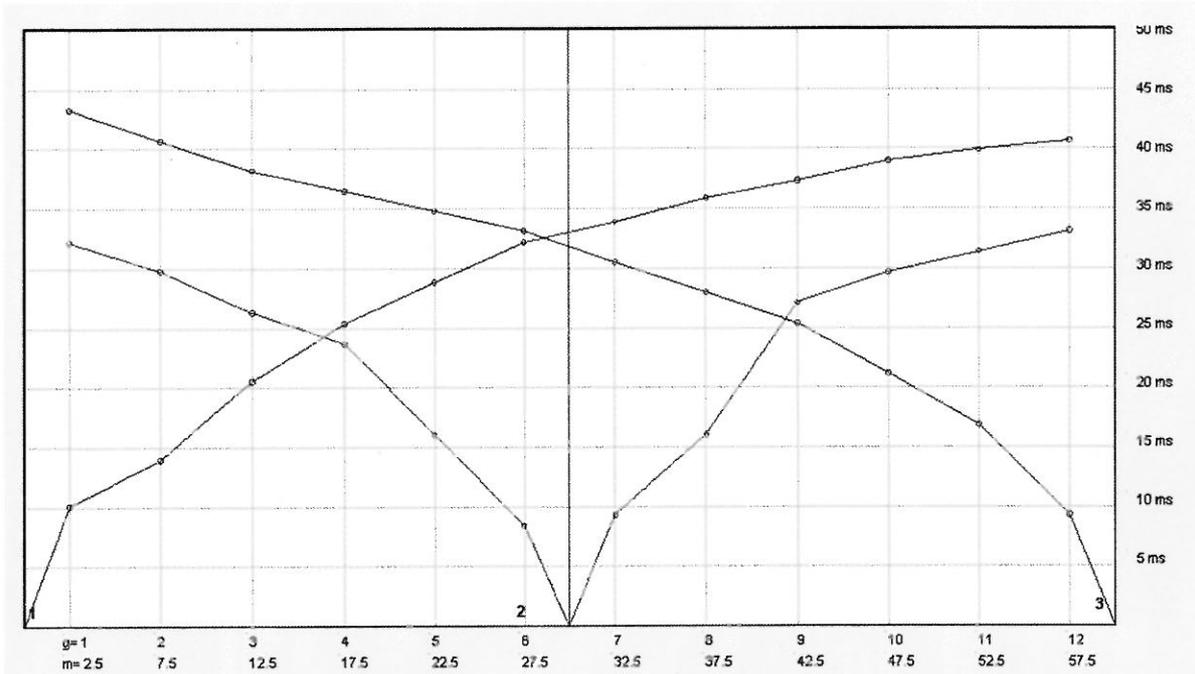
Dott. Geol. Daniela Distilo

### DIAGRAMMI TEMPI DI ARRIVO – DISTANZE SS1



### SEZIONE SISMICA SS1

## DIAGRAMMI TEMPI DI ARRIVO – DISTANZE SS2



## SEZIONE SISMICA SS2

## TEMPI DI ARRIVO DELLE ONDE P AI GEOFONI

LOCALITÀ: CIMITERO – Comune di Fagnano Castello (CS)

SISMOGRAFO: ECHO 12-24/2002

### STENDIMENTO SISMICO SS1

	Shot 1	Shot 2	Shot 3	Distance
Geo. 2	16.10	27.10	40.70	07.50
Geo. 3	20.29	25.38	39.00	12.50
Geo. 4	25.38	23.69	37.29	17.50
Geo. 5	28.00	20.29	34.79	22.50
Geo. 6	30.50	9.30	31.38	27.50
Geo. 7	32.20	6.69	29.69	32.50
Geo. 8	33.09	14.39	28.00	37.50
Geo. 9	34.79	20.29	25.38	42.50
Geo. 10	36.50	22.88	23.69	47.50
Geo. 11	38.20	25.38	20.29	52.50
Geo. 12	39.00	28.00	9.30	57.50
Distance	00.00	30.00	60.00	
Elevation	00.00	00.00	00.00	

### STENDIMENTO SISMICO SS2

	Shot 1	Shot 2	Shot 3	Distance
Geo. 1	10.09	32.20	43.29	02.50
Geo. 2	13.94	29.77	40.70	07.50
Geo. 3	20.55	26.30	38.20	12.50
Geo. 4	25.39	23.69	36.50	17.50
Geo. 5	28.80	16.04	34.79	22.50
Geo. 6	32.20	8.40	33.12	27.50
Geo. 7	33.89	9.30	30.50	32.50
Geo. 8	35.85	16.04	28.00	37.50
Geo. 9	37.29	27.10	25.39	42.50
Geo. 10	39.00	29.69	21.19	47.50
Geo. 11	39.89	31.39	16.89	52.50
Geo. 12	40.70	33.10	9.30	57.50
Distance	00.00	30.00	60.00	

## DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



Foto n. 1 Stendimento sismico a rifrazione SS1



Foto n. 2 Stendimento sismico a rifrazione SS2

## Vs30 E CARATTERIZZAZIONE DEI SUOLI DI FONDAZIONE

L'ordinanza P.C.M. n. 3274 del 20 marzo 2003 propone l'adozione di un sistema di caratterizzazione geofisica e geotecnica del profilo stratigrafico del terreno, attraverso la definizione di sette tipologie di suoli da individuare in relazione ai parametri di velocità delle onde di taglio, mediate sui primi 30 metri di terreno (Vs30).

$$V_{S30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_i}}$$

$h_i$  = Spessore in metri dello strato i-esimo  
 $V_i$  = Velocità dell'onda di taglio i-esima  
 $N$  = Numero di strati

Utilizzando i risultati delle prove geofisiche e delle prove penetrometriche dinamiche medie, che hanno permesso il calcolo del modulo di Poisson e del parametro  $N_{spt}$ , è stato determinato il valore delle Vs30 utilizzando metodi differenti:

- ✓ Vs30 calcolato mediante Vp misurate in situ e desunto indirettamente dal Coefficiente di Poisson:

Litotipo	Spessore strato (m)	Velocità onda P misurata in sito (m/s)	Coeff. Poisson (ν)	Velocità onda S con Poisson (m/s)	Rapporto spessore velocità	Tempi parziali in secondi (onda S desunta)
Sismostrato 1	1	265,00	0,02	185,36	$h_1/V_1$	0,005
Sismostrato 2	4,5	728,00	0,22	436,68	$h_2/V_2$	0,010
Sismostrato 3	24,5	2195,00	0,41	877,08	$h_3/V_3$	0,028
	<b>30</b>				$\Sigma h_i/V_i$	0,044

$$Vs30 \text{ (desunta)} = 30/0,044 = 687,54 \text{ m/s}$$

### COMPARAZIONE METODI DI CALCOLO E CATEGORIA DI SUOLO:

Metodi di calcolo	Valori (m/s)	Categoria suolo di fondazione (Ordinanza n.3274 del 2003)
Vs30 desunto mediante Vp e coefficiente di Poisson	687,54	B

## Vs30 E CARATTERIZZAZIONE DEI SUOLI DI FONDAZIONE

L'ordinanza P.C.M. n. 3274 del 20 marzo 2003 propone l'adozione di un sistema di caratterizzazione geofisica e geotecnica del profilo stratigrafico del terreno, attraverso la definizione di sette tipologie di suoli da individuare in relazione ai parametri di velocità delle onde di taglio, mediate sui primi 30 metri di terreno (Vs30).

$$V_{S30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_i}}$$

$h_i$  = Spessore in metri dello strato i-esimo  
 $V_i$  = Velocità dell'onda di taglio i-esima  
 $N$  = Numero di strati

Utilizzando i risultati delle prove geofisiche e delle prove penetrometriche dinamiche medie, che hanno permesso il calcolo del modulo di Poisson e del parametro  $N_{spt}$ , è stato determinato il valore delle Vs30 utilizzando metodi differenti:

- ✓ Vs30 calcolato mediante Vp misurate in situ e desunto indirettamente dal Coefficiente di Poisson:

Litotipo	Spessore strato (m)	Velocità onda P misurata in sito (m/s)	Coeff. Poisson (ν)	Velocità onda S con Poisson (m/s)	Rapporto spessore velocità	Tempi parziali in secondi (onda S desunta)
Sismostrato 1	1	274,00	0,02	191,66	$h_1/V_1$	0,005
Sismostrato 2	4	705,00	0,22	422,88	$h_2/V_2$	0,009
Sismostrato 3	25	2234,00	0,41	892,66	$h_3/V_3$	0,028
	<b>30</b>				$\Sigma h_i/V_i$	0,043

$$Vs30 \text{ (desunta)} = 30/0,043 = 702,86 \text{ m/s}$$

### COMPARAZIONE METODI DI CALCOLO E CATEGORIA DI SUOLO:

Metodi di calcolo	Valori (m/s)	Categoria suolo di fondazione (Ordinanza n.3274 del 2003)
<i>Vs30 desunto mediante Vp e coefficiente di Poisson</i>	702,86	B

## DATI INTERVENTO P.O.R.

## **Premessa**

Nell'ambito della campagna d'indagini geognostiche per gli *Interventi di messa in sicurezza delle aree sottoposte a rischio idrogeologico ricadenti a valle del centro abitato -POR ASSE 1 - Mis. 1.4 - Azione 1.4a, nel Comune di Fagnano Castello (CS)*, i D.ri Geologi **Franco DI BIASE**, **Gianfranco BARTOLO** e **Patrizia SABATO** hanno incaricato la *Geofisica Misure S.n.c.* di eseguire cinque prospezioni geofisiche di superficie, finalizzate alla definizione dei caratteri elastici dinamici e sismostratigrafici dei terreni presenti. Vista la presenza di condizioni di saturazione dei terreni a breve profondità, nelle prospezioni sismiche SIS2, SIS3 e SIS5, oltre all'elaborazione tomografica per le onde P, è stata eseguita anche un'elaborazione finalizzata alla definizione di un profilo delle onde di taglio (S), per cui si è eseguita un'analisi della dispersione delle velocità di fase delle onde di Rayleigh, nota in letteratura come MASW (Multichannel Analysis of Surface Wave).

Il contesto geologico vede la presenza di depositi sedimentari costituiti da argille marnose, a vario grado di consistenza, con soprastanti coperture di alterazione a prevalente granulometria fine, localmente associate a terreno di riporto.

## **Caratteristiche delle apparecchiature**

Sismografo modulare Geometrics Geode a 24 canali, con conversione analogico-digitale a 24 bit, ad elevata dinamica. Con le seguenti caratteristiche principali:

- *Range dinamico: 144 dB di sistema.*
- *Distorsione: 0.0005 % @ 2.0 ms.*
- *Banda di acquisizione: 1.75-20.000 Hz.*
- *Accuratezza trigger: 1/32 del passo di campionamento.*
- *Impedenza: 20 Kohm.*
- *Filtri in acquisizione: LowCut: 10, 15, 25, 35, 50, 70, 100, 140, 200, 280, 400 Hz 24/48 dB/Octave, Butterworth. Notch: 50, 60, 180 Hz. HighCut: 32, 64, 125, 250, 500, 1000 Hz 24/48 dB/Octave.*
- *Intervallo di campionamento: 0.02, 0.03125, 0.0625, 0.125, 0.25, 0.5, 1.0, 2.0, 4.0, 8.0, 16.0 msec.*

- *Lunghezza di registrazione: 16.384 campioni.*
- *Pre-trigger: fino a tutta la lunghezza di registrazione.*
- *Delay: da 0 a 9999 ms in passi di una lunghezza di intervallo.*

Per il rilievo della velocità del moto del suolo sono stati utilizzati geofoni OYO modello Geospace, con frequenza di oscillazione di 10 Hz.

## **PROSPEZIONI SISMICHE A RIFRAZIONE AD ONDE LONGITUDINALI (P)**

### **Tecnica di rilevamento**

Sono stati realizzati cinque stendimenti sismici a rifrazione. Gli stendimenti sismici SIS1, SIS2, SIS3 e SIS5 sono stati realizzati a 12 canali d'acquisizione, con distanza tra i geofoni di 5 m, per una lunghezza complessiva di  $60 \times 4 = 240$  m. Lo stendimento sismico SIS4 è stato realizzato a 16 canali d'acquisizione, sempre con distanza tra i geofoni pari a 5 m, per una lunghezza di 80 m. Per generare onde P rifratte di ampiezza rilevabile si è utilizzata una mazza del peso di 9 Kg battente su un piattello metallico. Le energizzazioni esterne agli stendimenti sono state eseguite con offset di 2.5 m.

### **Interpretazione**

I dati acquisiti dall'elaborazione dei sismogrammi costituiscono i primi tempi di arrivo degli impulsi sismici longitudinali (onde di compressione) ai vari geofoni dello stendimento. Considerata la variabilità litologica e quindi i caratteri elastici dei terreni presenti, il metodo di interpretazione utilizzato è stato del tipo tomografico. Questo metodo ha consentito una migliore individuazione di tali variazioni laterali, anche molto localizzate. Esso si basa sulla generazione, tramite apposito programma di calcolo (*SeisOpt-Pro della Optim*), di un grande numero di modelli di velocità del sottosuolo (varie decine di migliaia), discretizzato con celle quadrate di dimensioni prefissate, a cui vengono assegnate velocità diverse per ogni soluzione. Attraverso calcoli iterativi, le dromocrone calcolate per ciascun modello vengono confrontate con le dromocrone reali. Il software determina, tramite il noto algoritmo *Montecarlo*, quella che è la soluzione ottimale, cioè quella che definisce le dromocrone calcolate che meglio si avvicinano a quelle reali. La bontà del modello dipende dalla geometria dello stendimento, dalla distribuzione delle velocità nel sottosuolo, dal numero e dalla posizione dei punti di energizzazione utilizzati e dal grado di dettaglio (dimensioni delle celle) utilizzato per l'elaborazione. Per quest'ultimo motivo si è proceduto a vari tentativi di

ottimizzazione, considerando varie dimensioni delle celle, fino ad ottenere lo scarto minimo tra i dati reali e quelli calcolati.

I risultati dell'elaborazione vengono presentati in forma grafica nei seguenti elaborati:

- **Modello di velocità:** rappresenta il risultato ottimale ottenuto; le velocità sono rappresentate in scale cromatiche comprese tra il minimo ed il massimo valore determinato.
- **Campionamento:** consente di verificare per ogni cella se e quanti dati sono stati utilizzati dal programma per definirne la velocità; anche in questo caso la rappresentazione è ottenuta utilizzando una scala cromatica. Le celle in bianco rappresentano le porzioni di terreno per le quali non vi sono dati campionati.
- **Diagramma delle dromocrone:** mette a confronto le dromocrone di campagna con quelle calcolate per il modello ottimale di velocità.

I modelli di velocità ottenuti hanno consentito di investigare profondità variabili tra 12 e 20 m circa.

#### Modello di velocità SIS 1

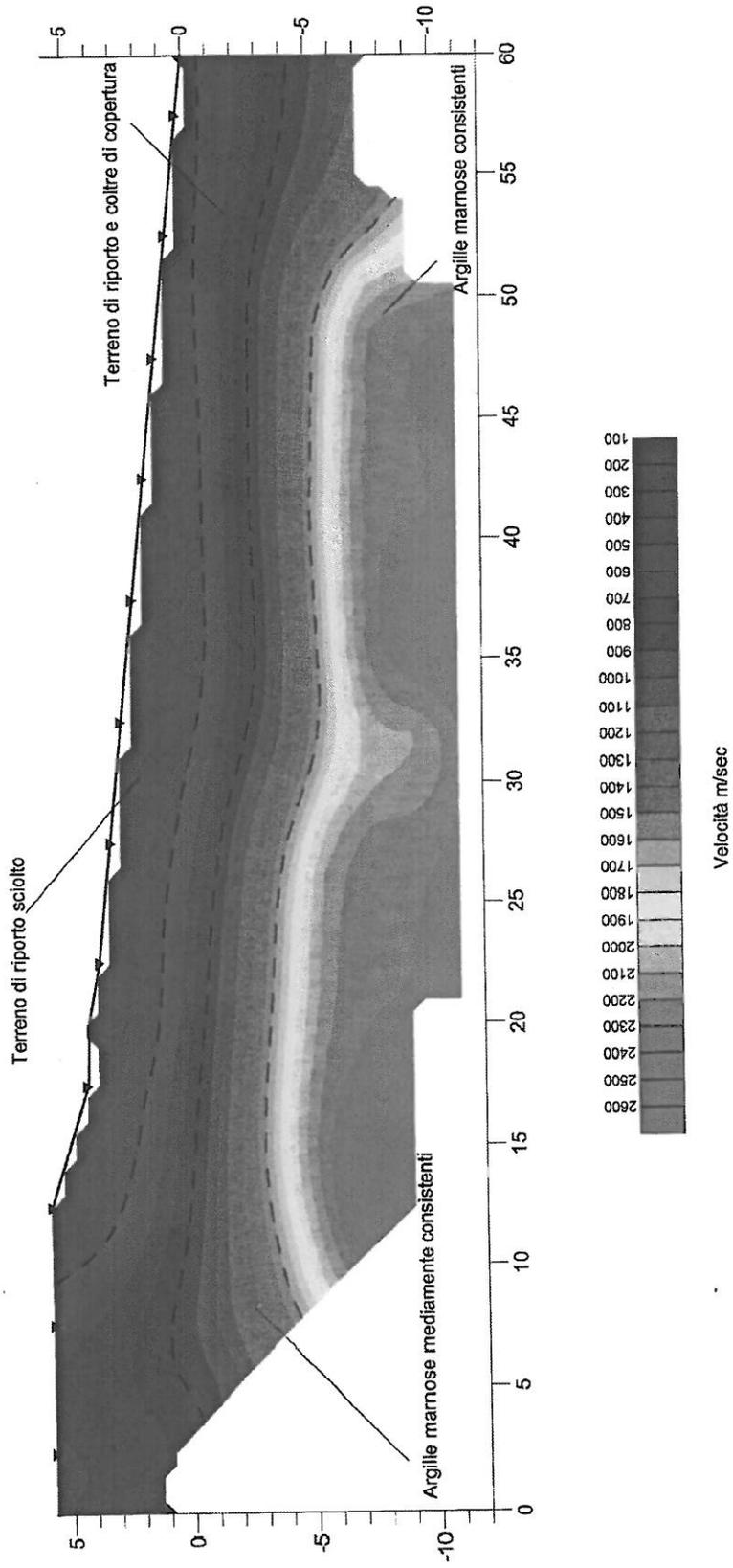
Si evidenzia un orizzonte superficiale, che presenta spessore variabile da 0.80 a 3.0 m circa, dove le velocità delle onde di compressione ( $V_p$ ) variano tra 300 e 500 m/sec. Tali valori di velocità sono associabili a terreno di riporto eterogeneo sciolto. Sottostante e lateralmente quest'orizzonte superficiale, s'individua un orizzonte dove le velocità delle onde di compressione variano tra 500 e 800 m/sec e sono associabili alla coltre di copertura alterata a prevalente granulometria fine, associata nella parte superiore a terreno di riporto. Sotto quest'orizzonte si riscontra un aumento delle velocità delle onde longitudinali, che raggiungono valori superiori ai 2000 m/sec sotto i 10 m circa di profondità, con punte massime di 2500 m/sec nella parte inferiore del modello. Le velocità delle onde longitudinali ( $V_p$ ), che sono comunque influenzate dalla presenza della falda nella parte inferiore del secondo orizzonte e nel terzo orizzonte, possono essere associate ad argille marnose, che presentano un aumento della consistenza con l'aumentare della profondità.

#### Modelli di velocità SIS 2 – SIS 3 – SIS 4 – SIS5

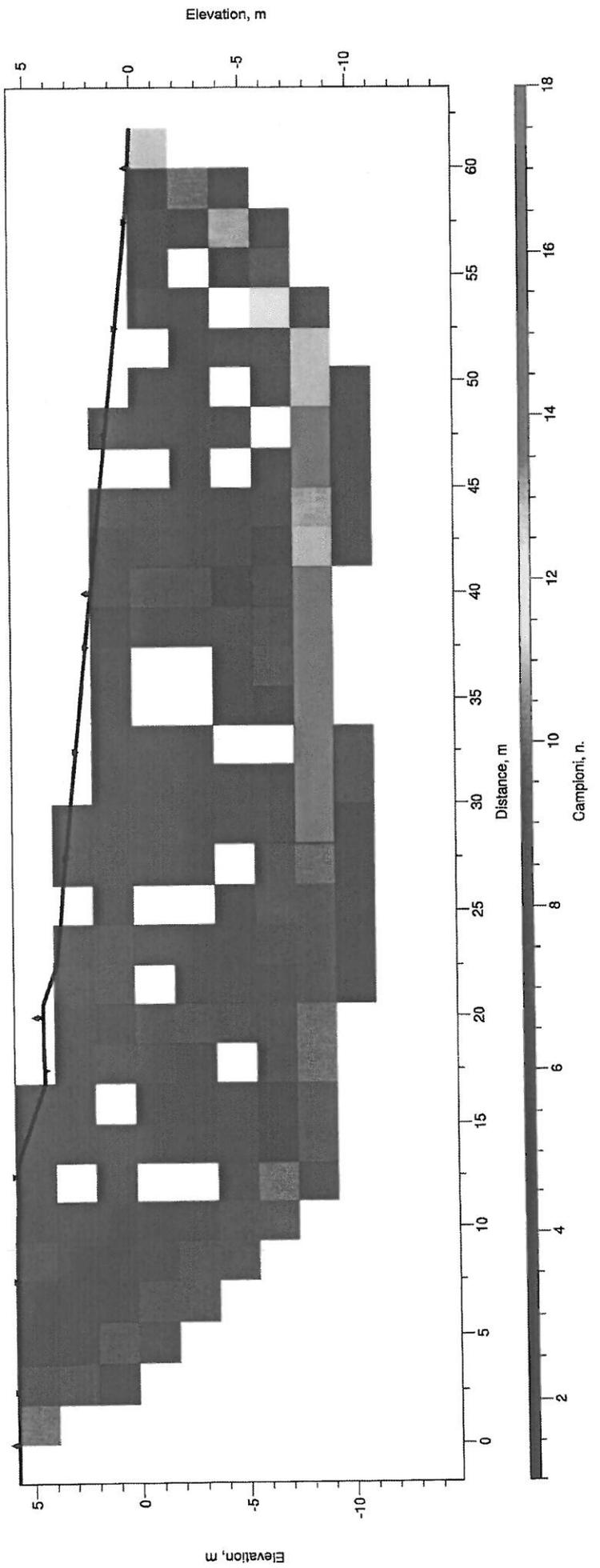
In tutti i modelli di velocità si evidenzia un orizzonte superficiale, che presenta uno spessore variabile tra 2.0 e 8.5 m, dove le velocità delle onde longitudinali variano tra 300 e 900 m/sec. Tali valori di velocità, presumibilmente influenzati dalla presenza della falda nella parte inferiore, sono associabili alla coltre di copertura superficiale, a composizione limoso sabbiosa argillosa. Nell'orizzonte intermedio le velocità delle onde P, influenzate dalla presenza della falda, variano tra 900 e 1800 m/sec e possono essere associate a depositi argilloso marnosi mediamente consistenti. Sotto quest'orizzonte intermedio, si registra un ulteriore aumento delle velocità delle onde

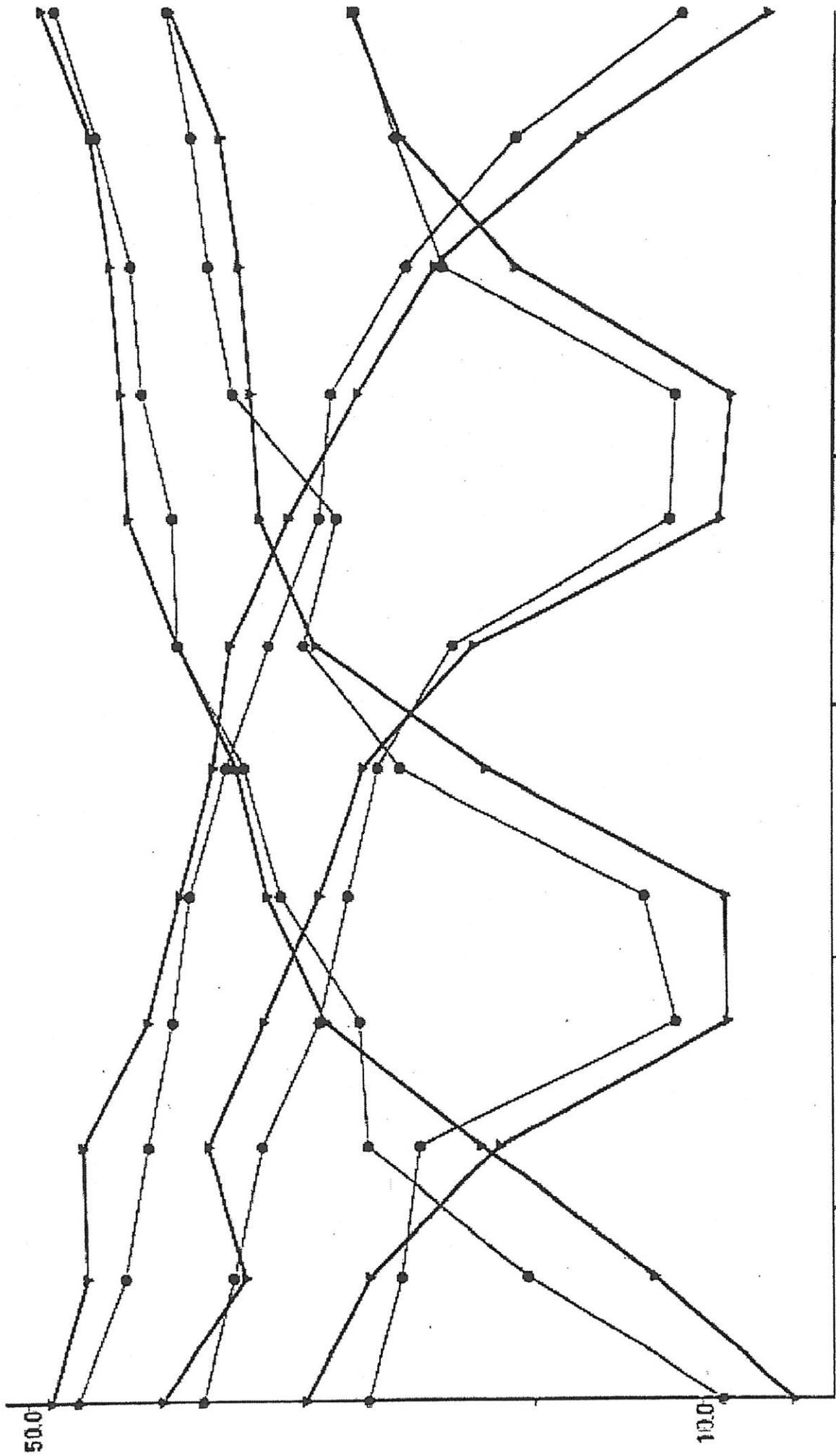
longitudinali, che raggiungono valori massimi di 2800 m/sec nella parte inferiore dei modelli SIS3 e SIS4. Le velocità registrate in quest'ultimo sismostrato possono essere associate ad argille marnose consistenti.

# MODELLO DI VELOCITA' SIS1



Campionamento SIS1





50.0

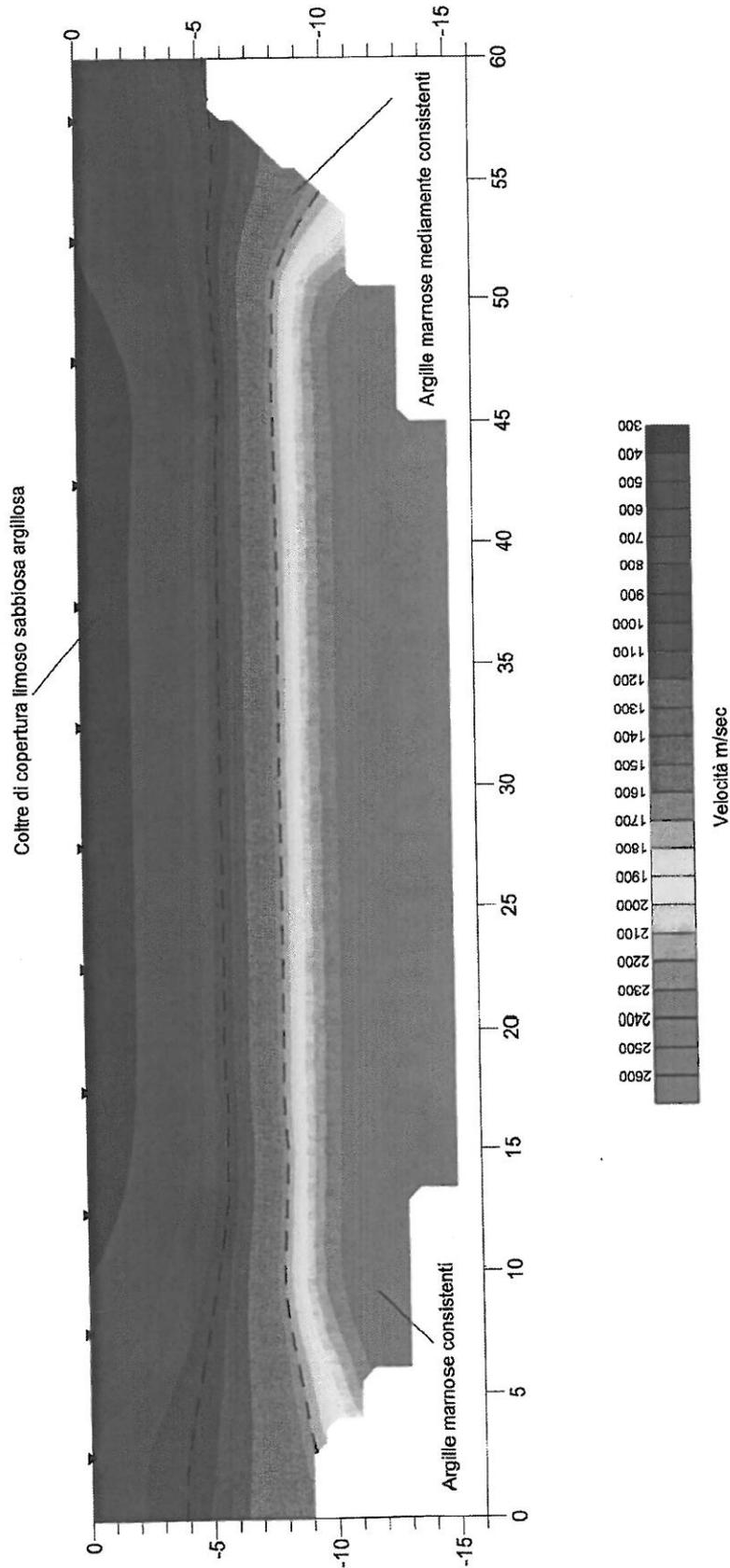
(square) => Observed (circle) => Calculated Source-Number 4.0

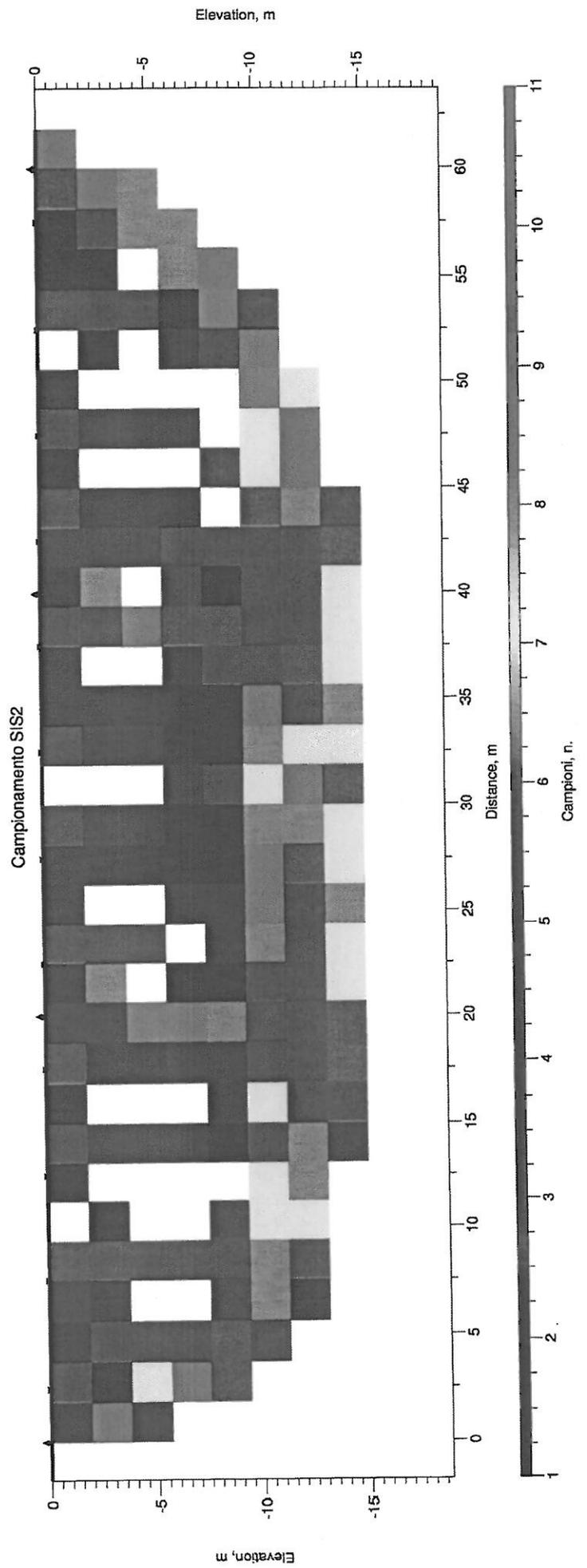
100.0

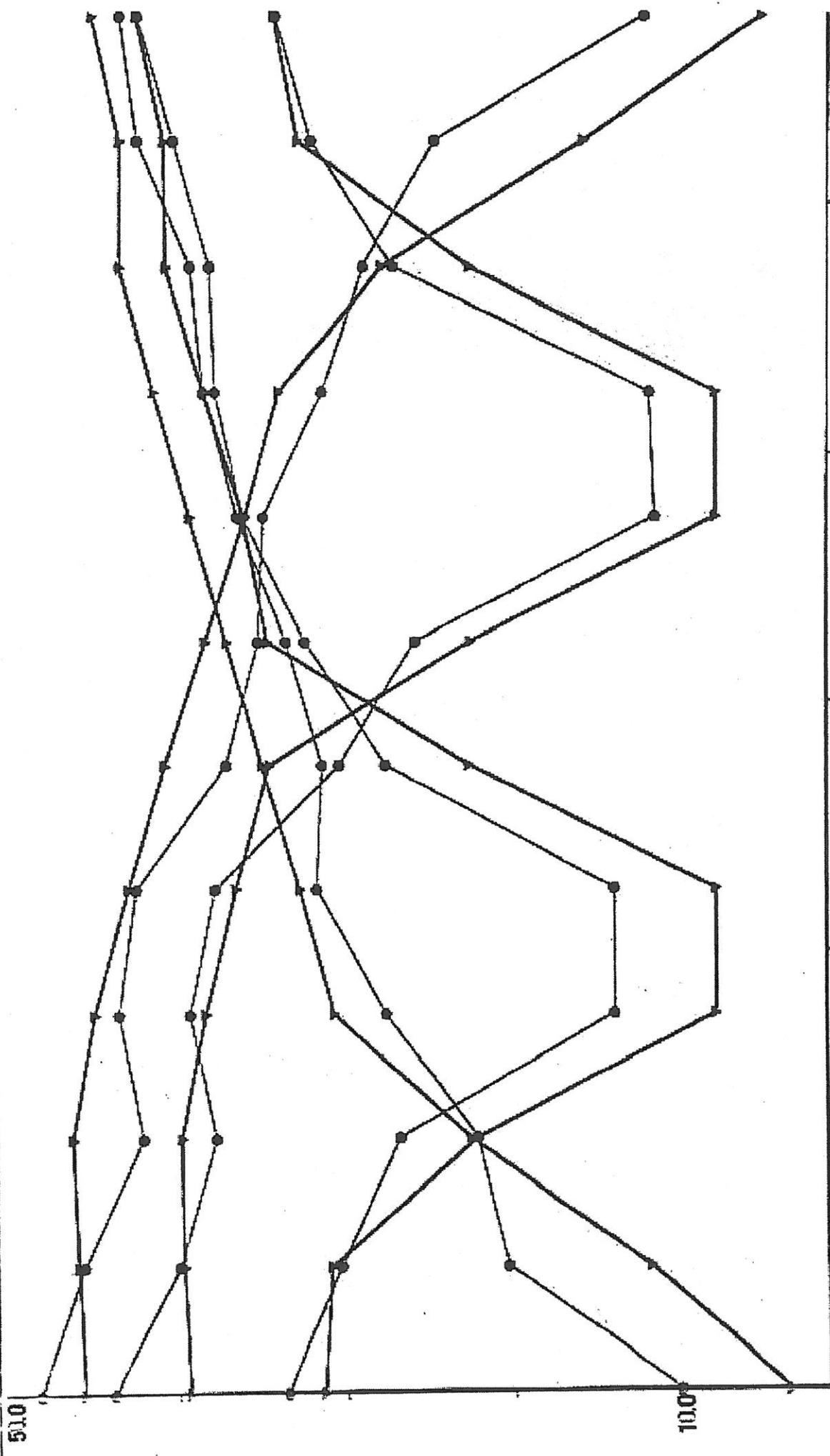
50.0

100.0

# MODELLO DI VELOCITA' SIS2





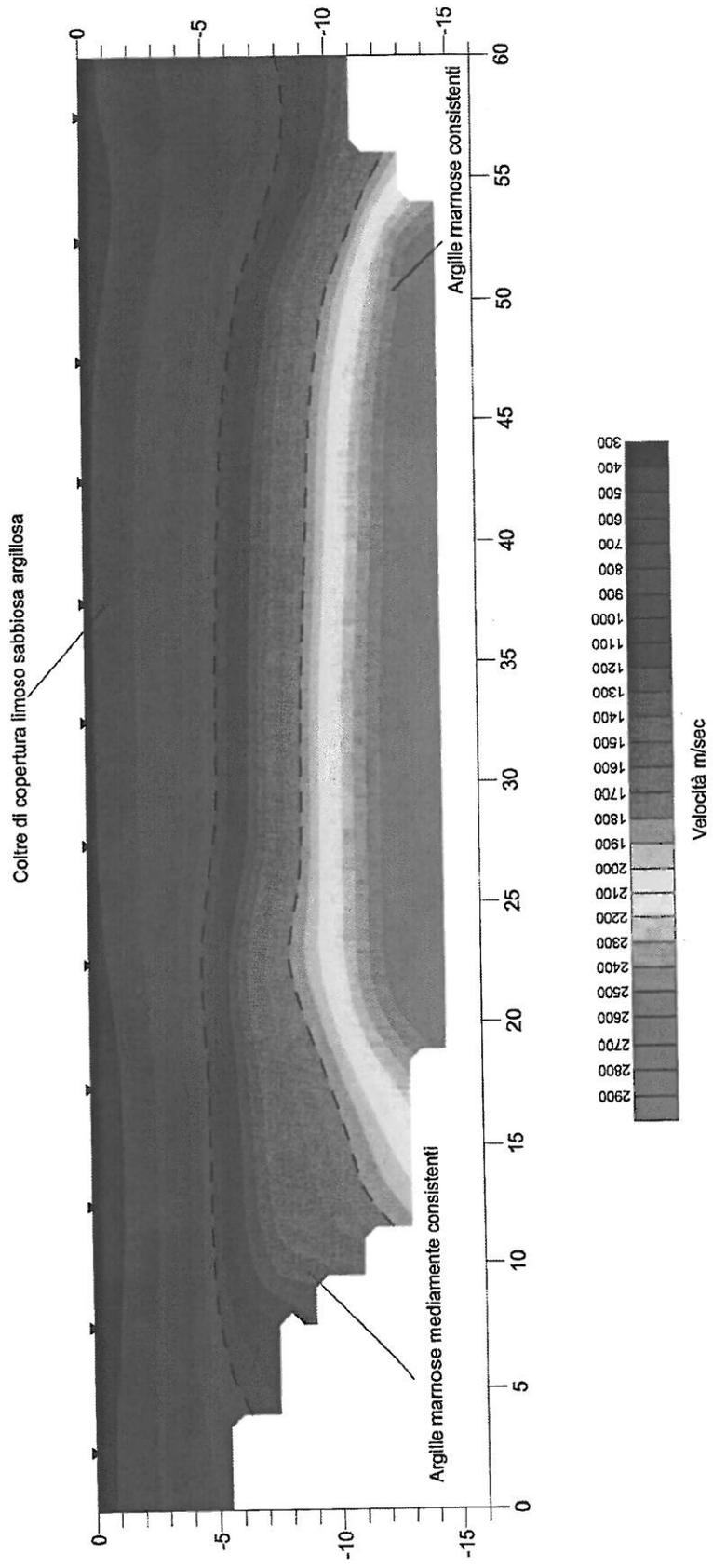


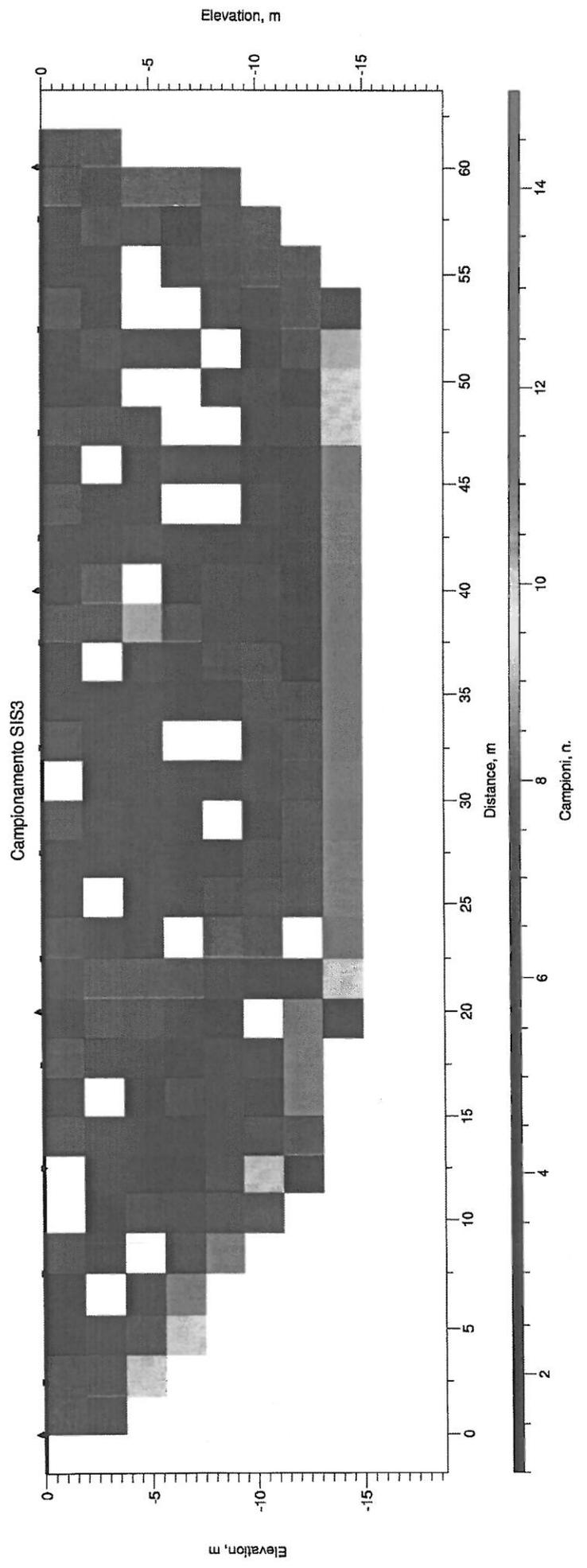
50.0

10.0

[square] => Observed    [circle] => Calculated    Source Number: 4.0

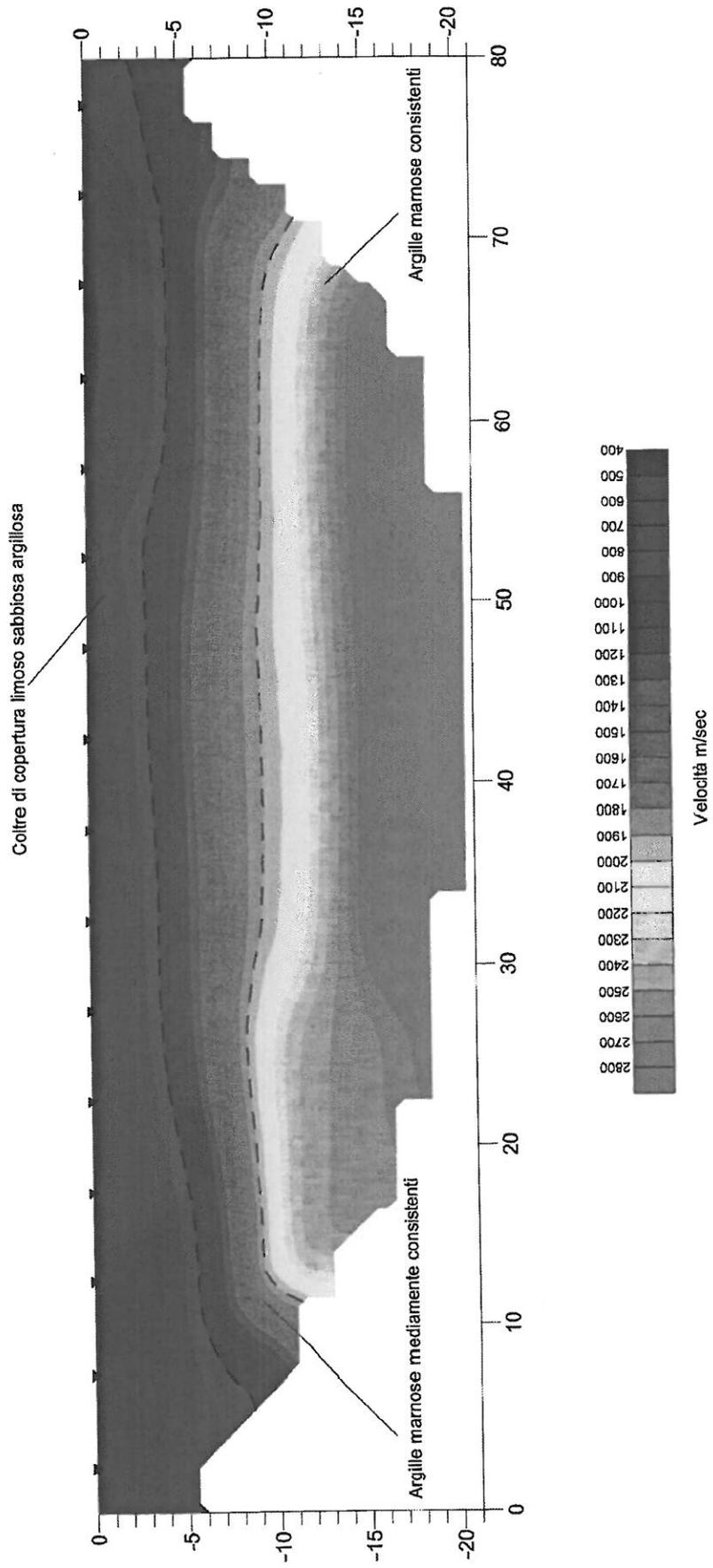
### MODELLO DI VELOCITA' SIS3

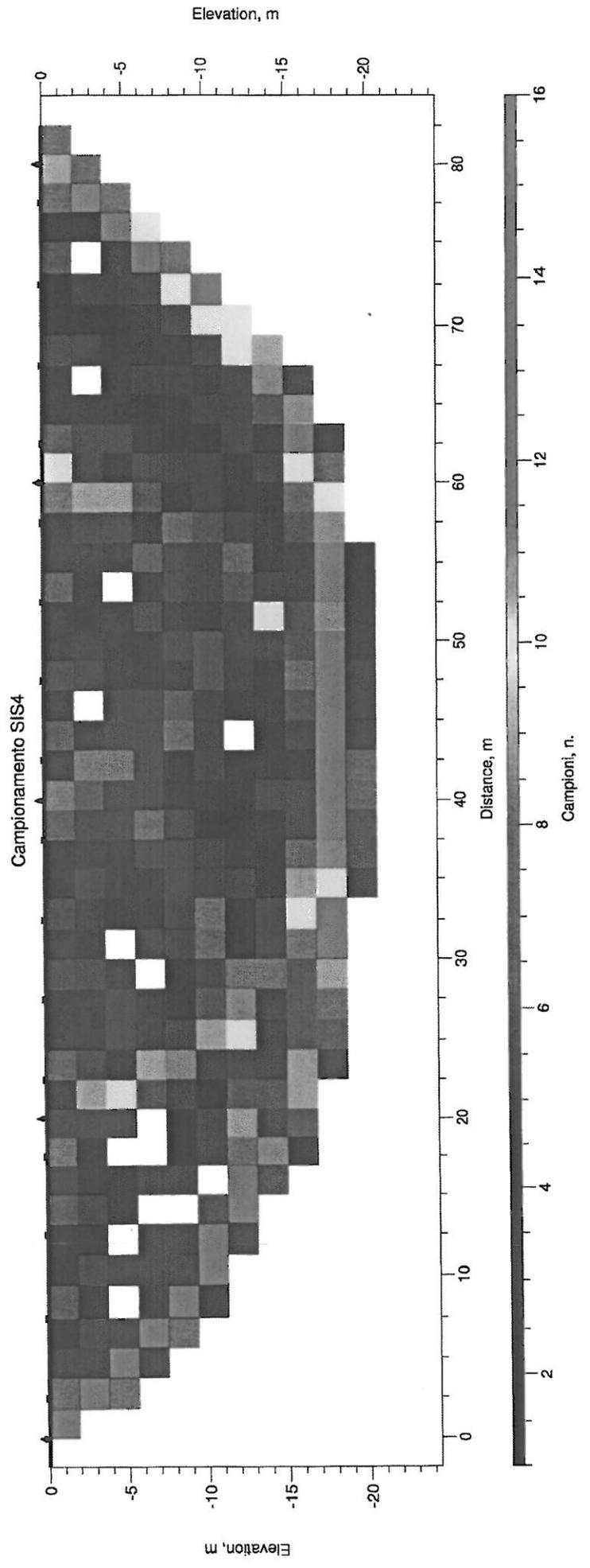


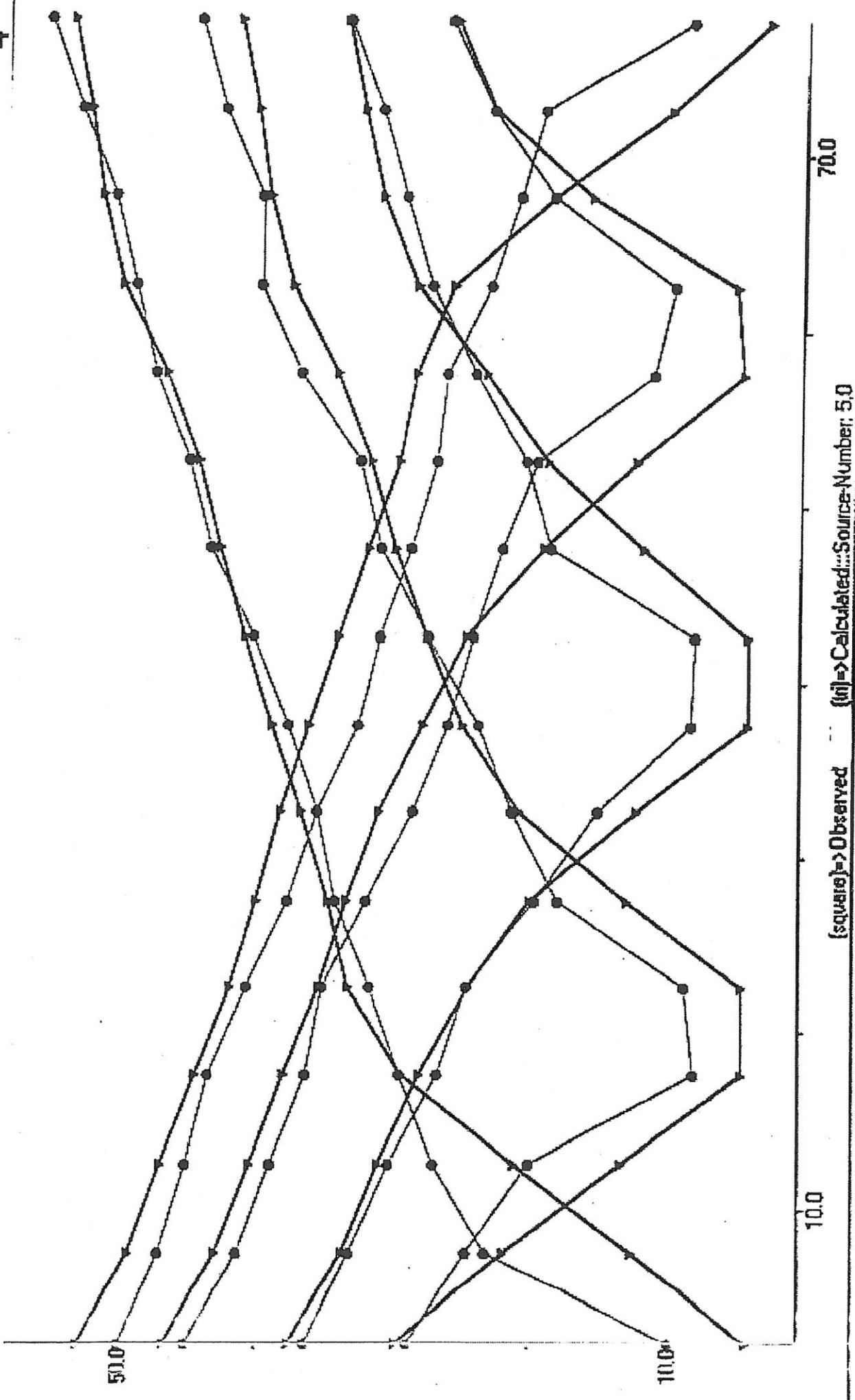




# MODELLO DI VELOCITA' SIS4

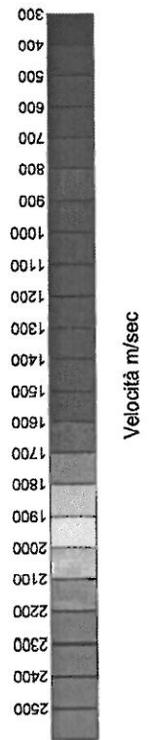
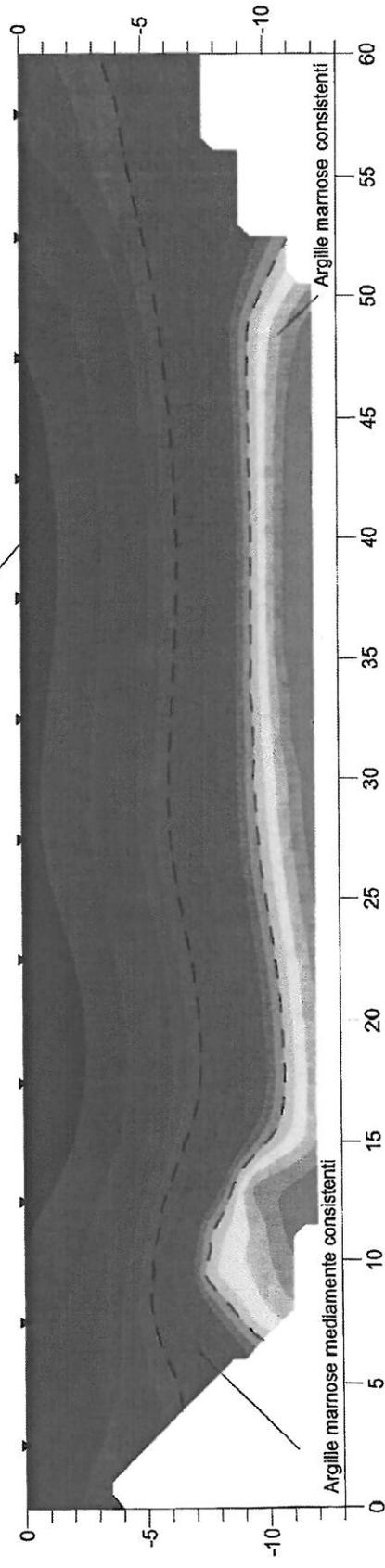


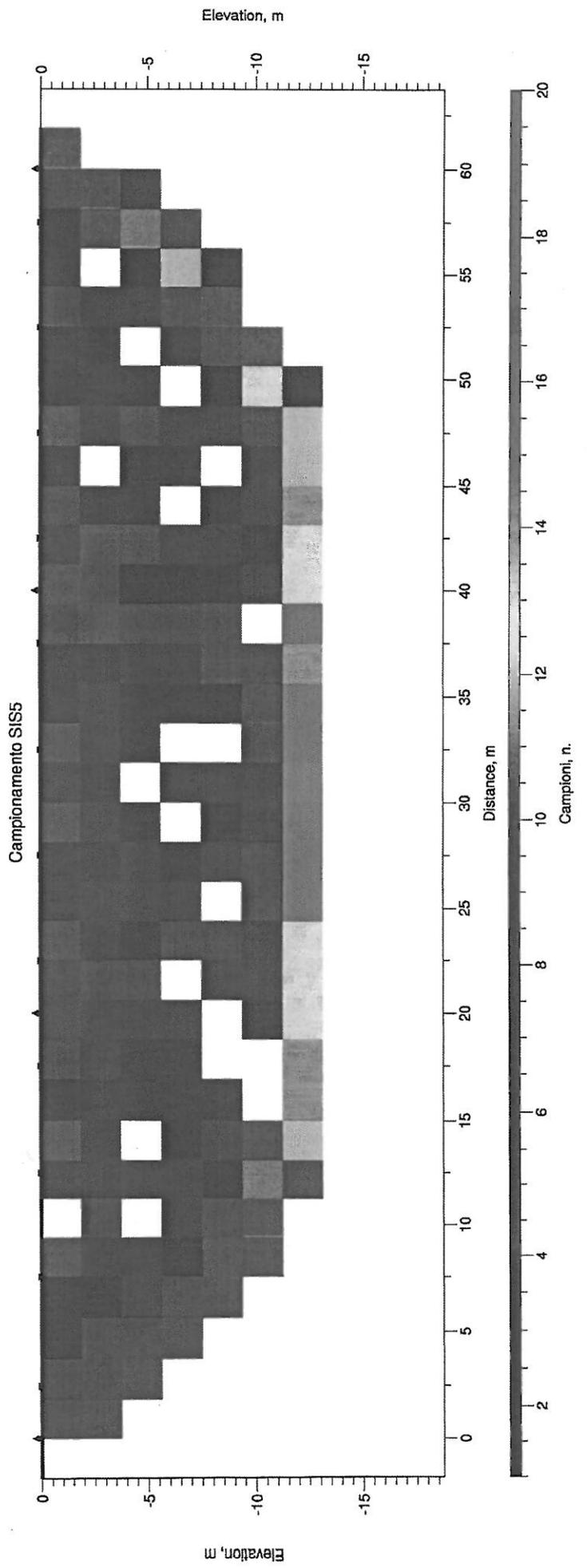


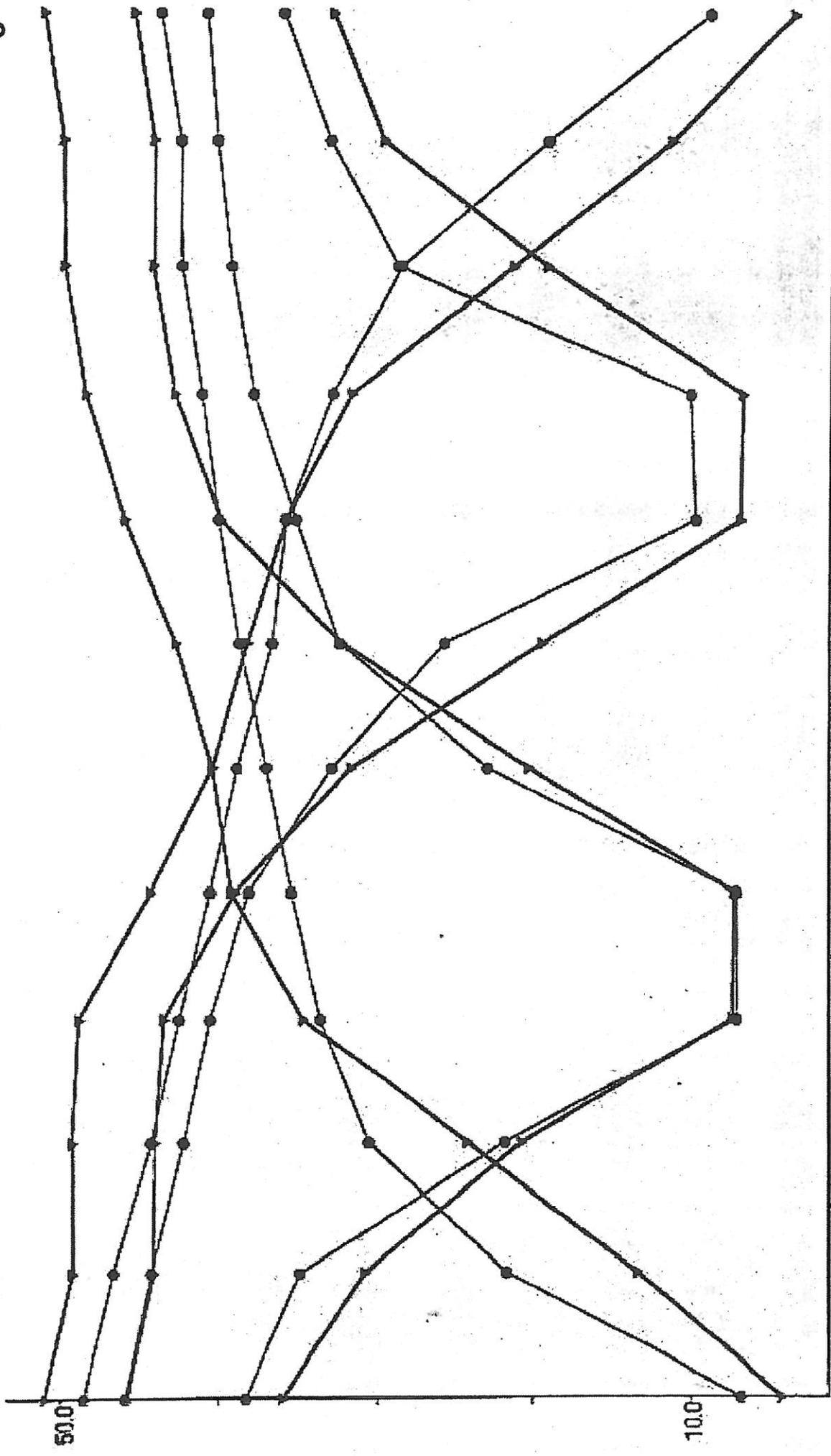


# MODELLO DI VELOCITA' SIS5

Coltre di copertura limoso sabbiosa argillosa







50.0

100.0

(square) => Observed (tri) => Calculated::Source-Number: 4.0

## INTERPRETAZIONE MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACE WAVE (MASW)

Come già accennato in premessa, a causa dell'influenza della falda idrica sulle velocità delle onde longitudinali (P) registrate negli orizzonti sismici sottostanti quello più superficiale, soprattutto in quello intermedio, per le basi sismiche SIS2, SIS3 e SIS5 è stata effettuata un'ulteriore elaborazione su un sismogramma ottenuto da un punto di energizzazione posto a 10 m dal primo geofono, sulla stessa base sismica utilizzata per le predette prospezioni sismiche a rifrazione. La tecnica si basa sullo studio della dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di tipo Rayleigh (R), nota in letteratura come Multichannel Analysis of Surface Wave (MASW).

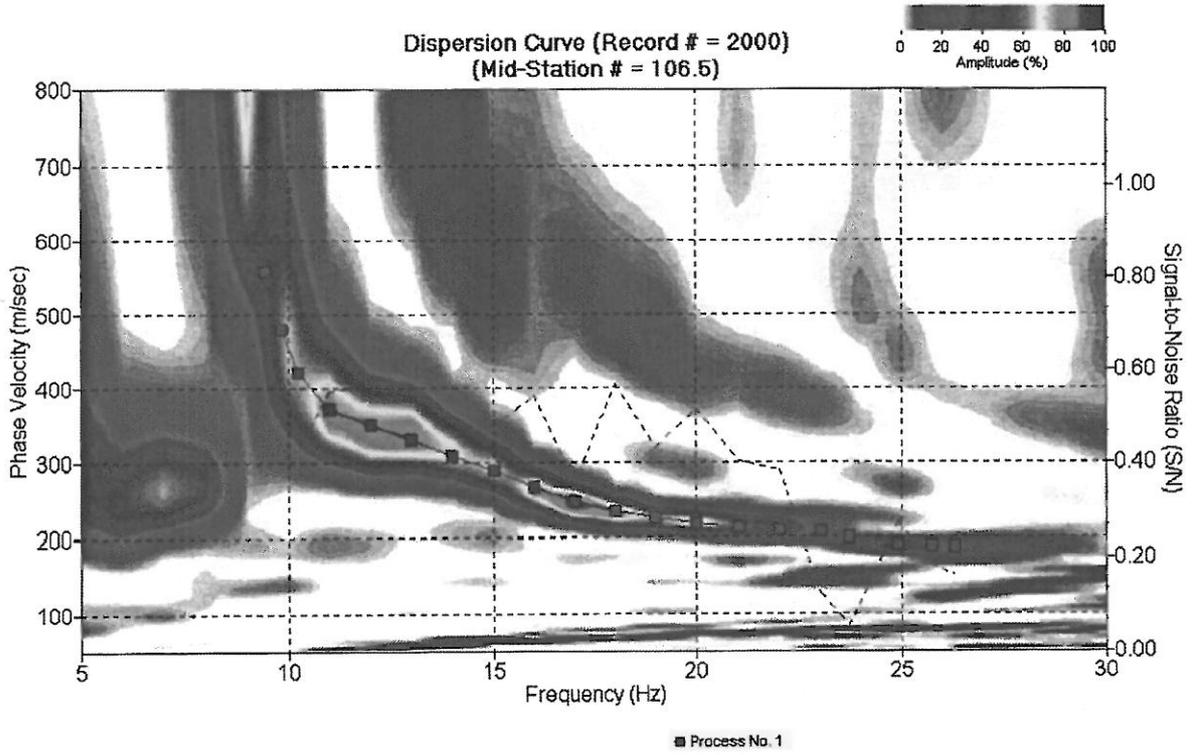
Il sismogramma è stato oggetto di filtraggio per l'eliminazione delle alte frequenze e "depurato" dalle onde di volume, al fine di ottenere dei picchi di ampiezza nelle oscillazioni relative alle onde di superficie.

Successivamente si passa alla rappresentazione delle tracce sismiche su un diagramma che mette in relazione le frequenze con le velocità di fase. Su di esso si individuano, come zone di massime ampiezze, gli allineamenti attribuibili alle onde di Rayleigh, da cui si ottiene la variazione delle velocità di queste ultime con il variare della loro frequenza, o lunghezza d'onda. Essendo la profondità di propagazione di questo tipo di onde dipendente dalla frequenza, sarà possibile correlare le velocità alle varie frequenze con le profondità. Quest'ultimo passo, successivo alla definizione della curva di dispersione, si ottiene mediante un processo di inversione, che porta al risultato finale, costituito da un profilo verticale delle velocità delle onde trasversali ( $V_s$ ), posto al centro della stesa di geofoni.

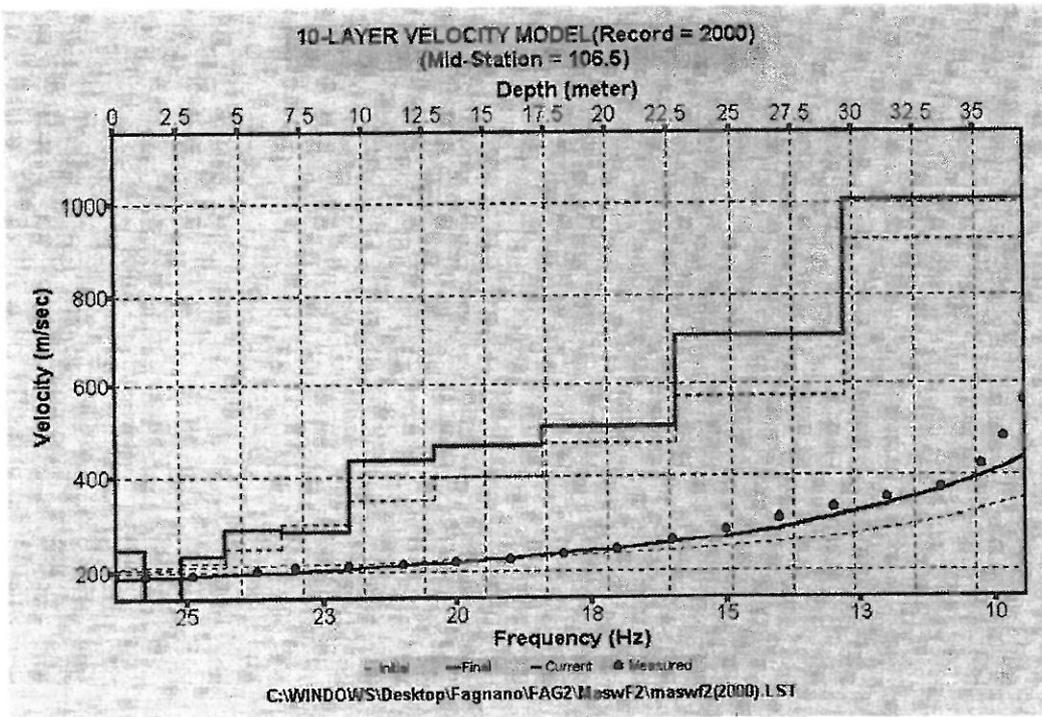
Gli elaborati forniti contengono:

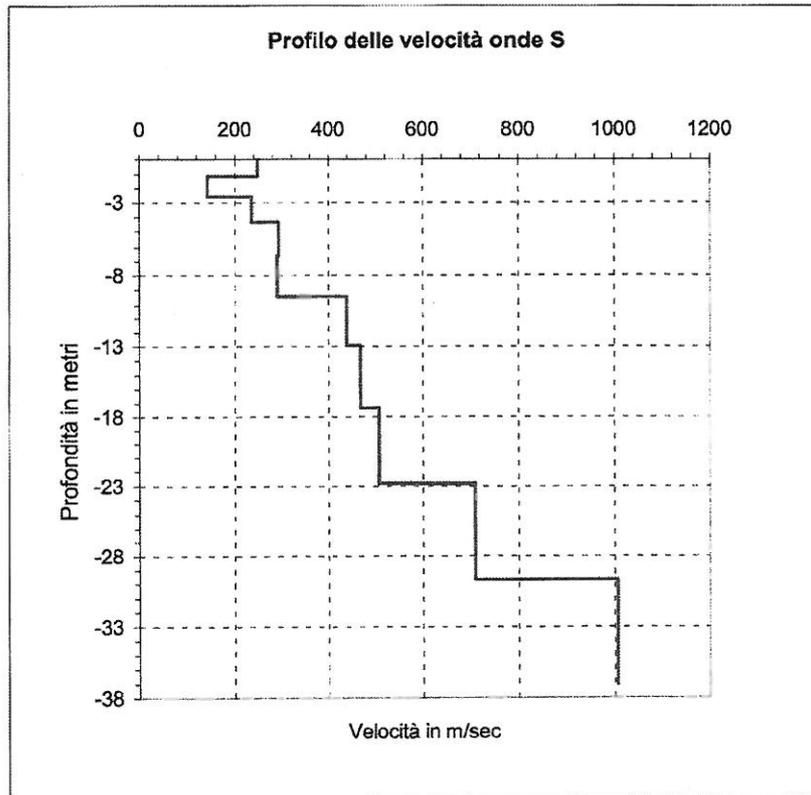
- *la curva di dispersione della velocità di fase delle onde R in relazione alla frequenza;*
- *il profilo delle  $V_s$  al centro dello stendimento fino alla massima profondità di indagine;*
- *la tabella dei valori di  $V_s$  per orizzonti omogenei di velocità;*
- *il valore medio delle  $V_s$  pesato sugli spessori fino alla massima profondità indagata.*

# MASW SIS2



Curva di dispersione (SIS2)

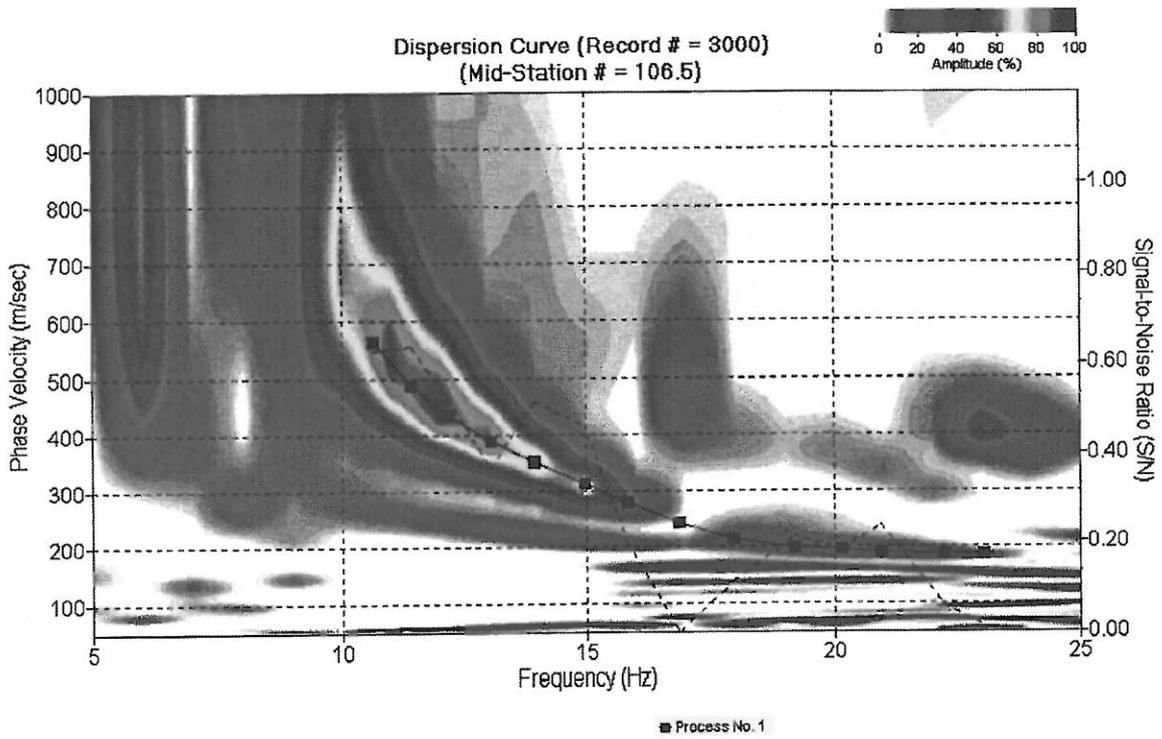




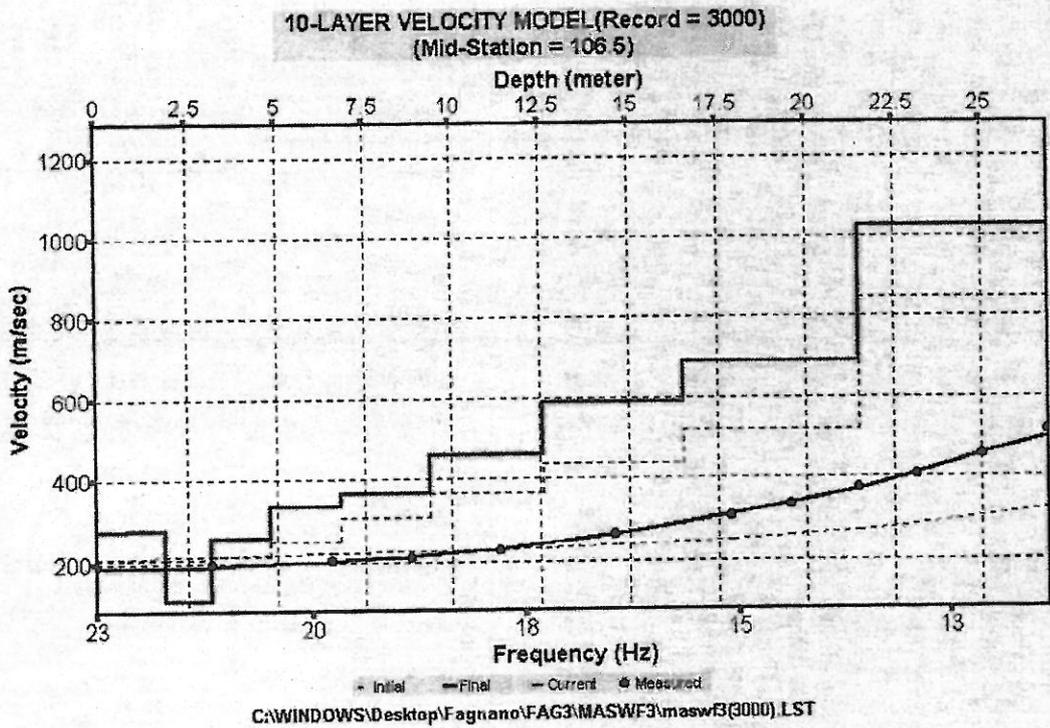
<i>Profondità dal p.c. al centro dello stendimento (SIS2) (metri)</i>	<i>Velocità delle onde S (m/sec)</i>
-1.148	247.662
-2.584	141.72
-4.378	234.441
-6.621	292.321
-9.424	288.428
-12.928	437.454
-17.309	467.015
-22.784	506.741
-29.629	709.269
-37.036	1005.323

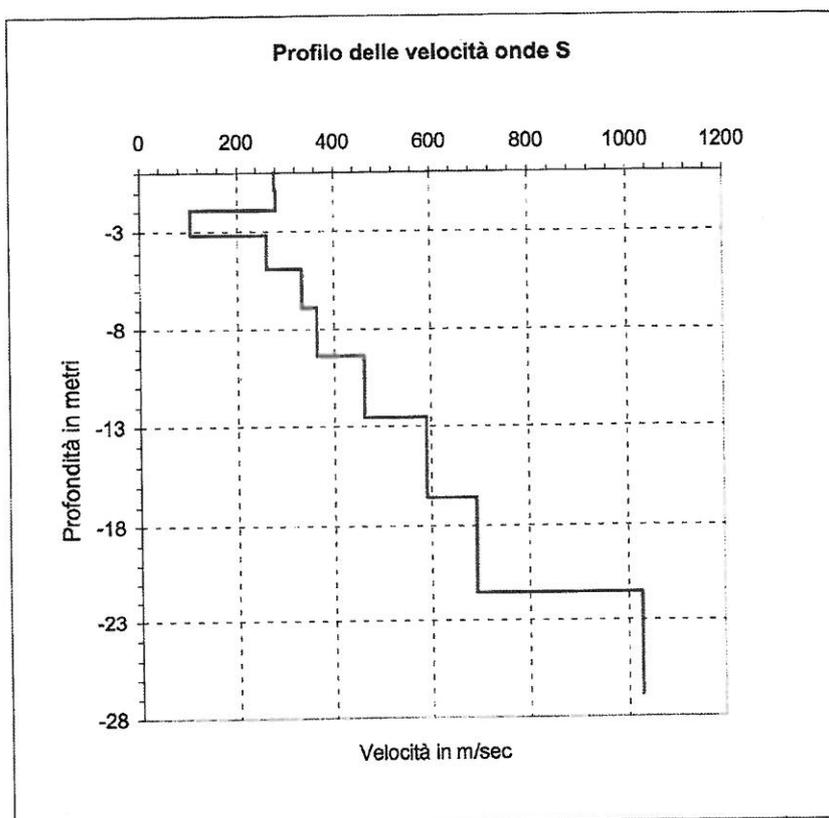
**V<sub>sm</sub> = 436 m/sec**

# MASW SIS3



Curva di dispersione (SIS3)

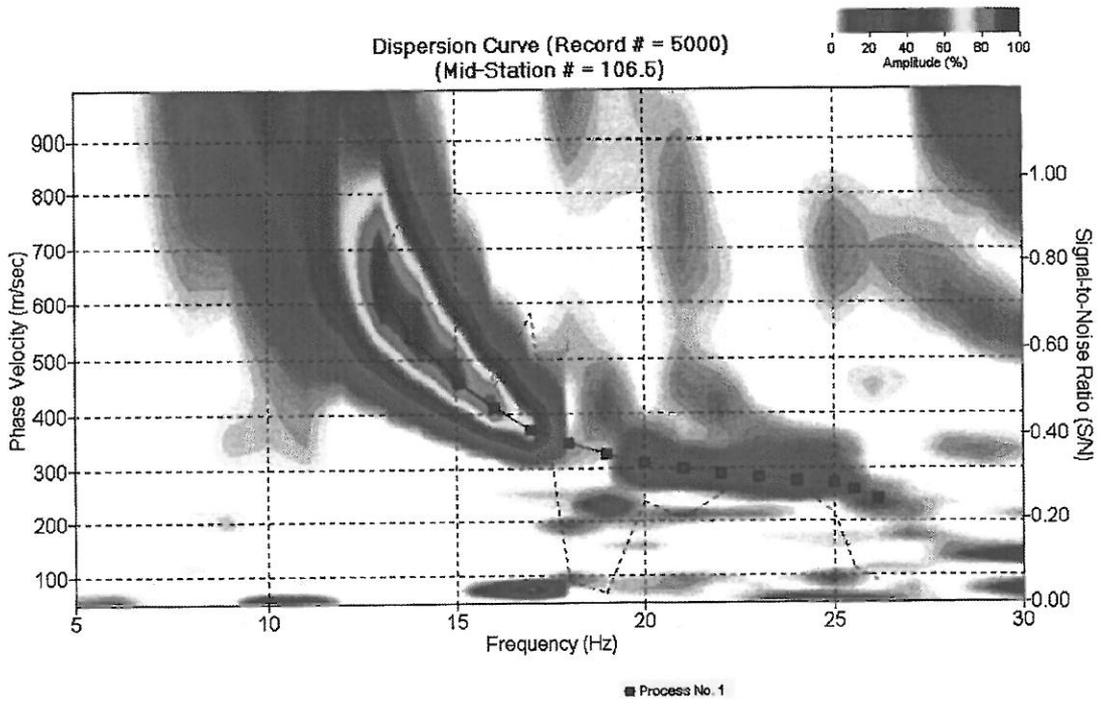




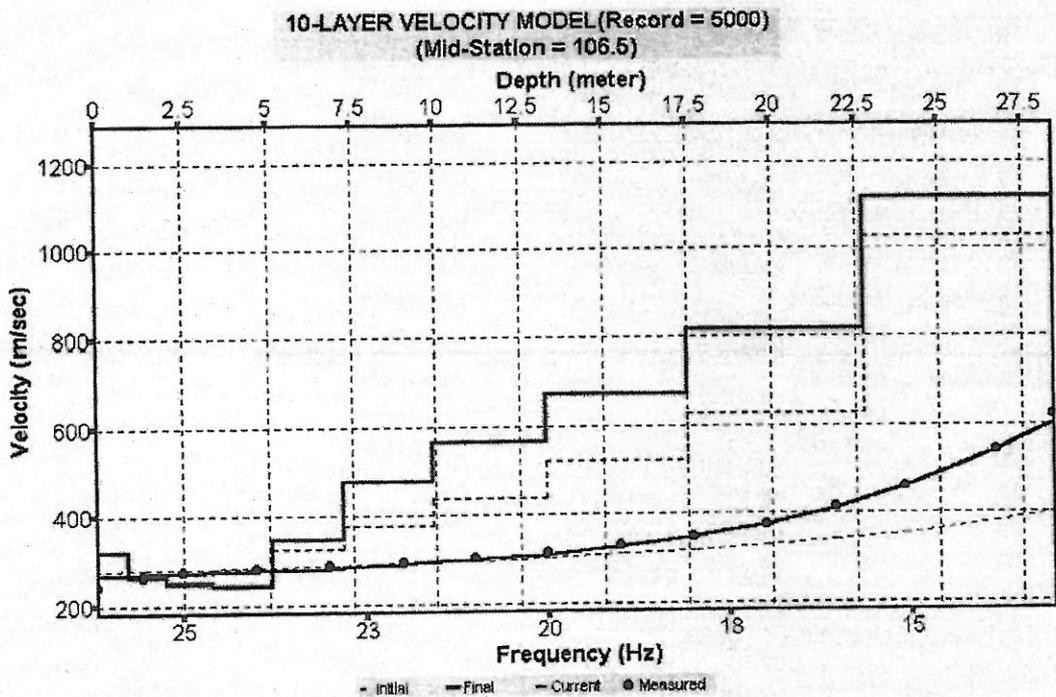
<i>Profondità dal p.c. al centro dello stendimento (SIS3) (metri)</i>	<i>Velocità delle onde S (m/sec)</i>
-0.83	277.8
-1.875	279.68
-3.177	105.0
-4.8	260.18
-6.838	332.26
-9.38	363.94
-12.56	462.14
-16.53	591.23
-21.5	692.08
-26.87	1027.88

**V<sub>sm</sub> = 417 m/sec**

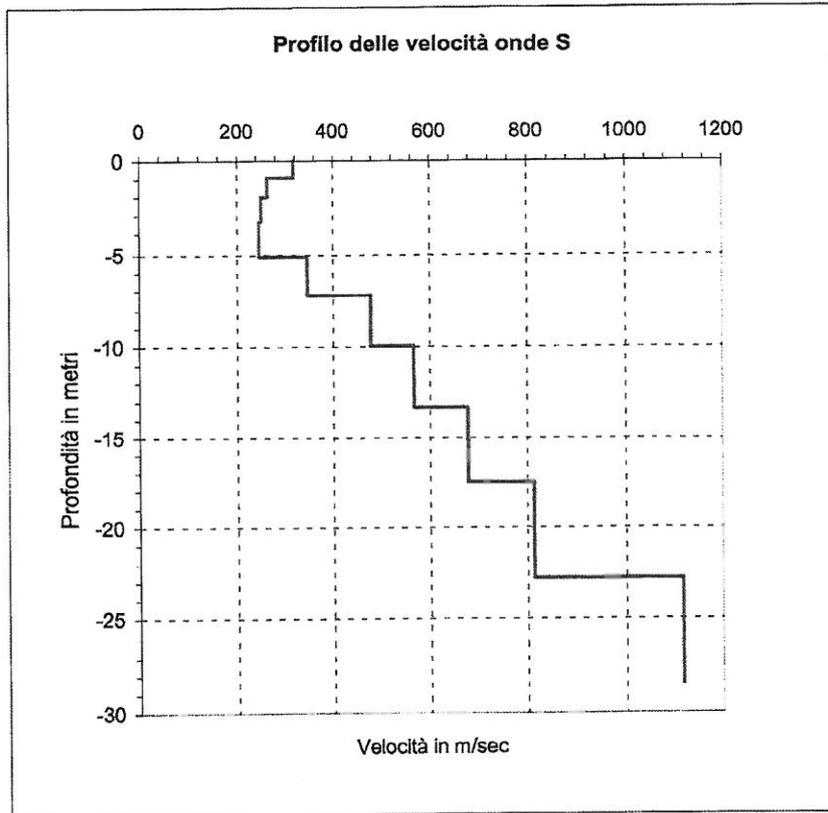
# MASW SIS5



Curva di dispersione (SIS5)



C:\WINDOWS\Desktop\Fagnano\FAG5\MASWF5\MaswF5(5000).LST

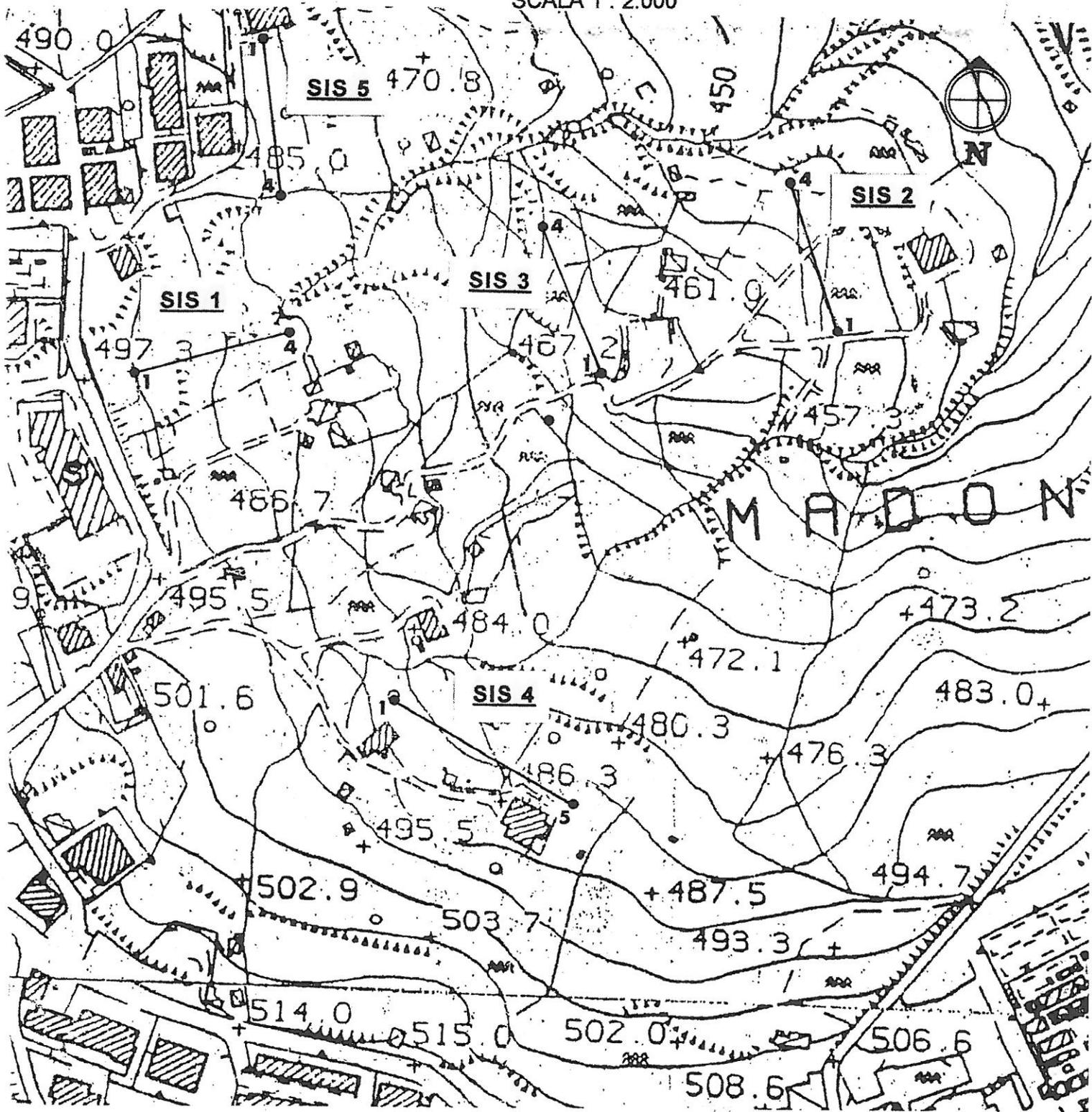


<i>Profondità dal p.c. al centro dello stendimento (SIS5) (metri)</i>	<i>Velocità delle onde S (m/sec)</i>
-0.881	316.208
-1.983	262.865
-3.36	249.972
-5.081	245.258
-7.232	344.847
-9.922	477.594
-13.283	566.363
-17.485	677.454
-22.738	812.914
-28.422	1116.554

**Vsm = 516 m/sec**

Comune di Fagnano Castello  
UBICAZIONE PROSPEZIONI SISMICHE A RIFRAZIONE

SCALA 1 : 2.000



LEGENDA

- Prospezione sismica a rifrazione
- 1 Shot (Punto di energizzazione)

### Moduli Elastici dinamici

I moduli elastici dinamici relativi agli orizzonti più superficiali vengono forniti partendo dai valori medi delle velocità delle onde longitudinali ( $V_p$ ) e delle onde di taglio ( $V_s$ ). Per l'orizzonte sismico intermedio, in falda, si è fatto riferimento solamente alle velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ). Il valore delle densità è da considerare indicativo.

Tabelle dei moduli elastici dinamici medi.

<b>Prospezione SIS 1</b>	<i>Terreno di riporto sciolto</i>	<i>Terreno di riporto e coltre di copertura limoso sabbiosa argillosa</i>	<i>Argille marnose mediamente consistenti</i>	<i>Argille marnose consistenti</i>
Coefficiente di Poisson $\mu$	0.376	0.360	----	0.417
Velocità onde longitudinali $V_p$ (m/sec)	400	600	1150	1560
Velocità onde trasversali $V_s$ (m/sec)	178	280	389	588
Peso di volume $\gamma$ ( $g/cm^3$ )	1.80	1.90	2.00	2.10
Modulo di Young $E_{din}$ (Mpa)	160.1	413.4	----	2098.5
Modulo di Rigidità $G$ (Mpa)	58.2	151.9	308.6	740.4

<b>Prospezione SIS 2</b>	<i>Coltre di copertura limoso sabbiosa argillosa</i>	<i>Argille marnose mediamente consistenti</i>	<i>Argille marnose consistenti</i>
Coefficiente di Poisson $\mu$	0.324	---	0.442
Velocità onde longitudinali $V_p$ (m/sec)	450	1100	1400
Velocità onde trasversali $V_s$ (m/sec)	229	339	452
Peso di volume $\gamma$ ( $g/cm^3$ )	1.90	2.00	2.10
Modulo di Young $E_{din}$ (Mpa)	269.3	---	1201.5
Modulo di Rigidità $G$ (Mpa)	101.6	234.4	416.7

<b>Prospezione SIS 3</b>	<i>Coltre di copertura limoso sabbiosa argillosa</i>	<i>Argille marnose mediamente consistenti</i>	<i>Argille marnose consistenti</i>
Coefficiente di Poisson $\mu$	0.323	---	0.417
Velocità onde longitudinali $V_p$ (m/sec)	450	1140	1570
Velocità onde trasversali $V_s$ (m/sec)	230	386	591
Peso di volume $\gamma$ ( $g/cm^3$ )	1.90	2.00	2.10
Modulo di Young $E_{din}$ (Mpa)	271.2	---	2120.4
Modulo di Rigidità $G$ (Mpa)	102.5	303.9	748.0

<b>Prospezione SIS 4</b>	<i>Coltre di copertura limoso sabbiosa argillosa</i>	<i>Argille marnose mediamente consistenti</i>	<i>Argille marnose consistenti</i>
Coefficiente di Poisson $\mu$	0.313	---	0.397
Velocità onde longitudinali Vp (m/sec)	480	797	1800
Velocità onde trasversali Vs (m/sec)	250	377	745
Peso di volume $\gamma$ (g/cm <sup>3</sup> )	1.90	2.00	2.10
Modulo di Young Edin (Mpa)	318.2	---	3319.9
Modulo di Rigidità G (Mpa)	121.1	359.8	1188.5

<b>Prospezione SIS 5</b>	<i>Coltre di copertura limoso sabbiosa argillosa</i>	<i>Argille marnose mediamente consistenti</i>	<i>Argille marnose consistenti</i>
Coefficiente di Poisson $\mu$	0.310	---	0.417
Velocità onde longitudinali Vp (m/sec)	480	1200	1500
Velocità onde trasversali Vs (m/sec)	252	410	566
Peso di volume $\gamma$ (g/cm <sup>3</sup> )	1.90	2.00	2.10
Modulo di Young Edin (Mpa)	322.3	---	1944.2
Modulo di Rigidità G (Mpa)	123.0	342.8	686.0

### Spettro di risposta sismica locale

Per la valutazione dello spettro di risposta elastico (componente orizzontale) dell'area investigata, si è fatto riferimento alla Legge 225/92, all'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n°3274 del 20.03.2003 (Nuova Normativa Sismica) e loro s.m.i.. Secondo tale Normativa l'area in esame ricade in Zona Sismica 2, per la quale è previsto un valore di accelerazione orizzontale massima, su suolo di categoria A (definito come al punto 3.1 della predetta Ordinanza),  $a_g = 0.25 g$ , dove "g" è l'accelerazione di gravità. L'influenza delle condizioni stratigrafiche locali viene fatta rientrare in 5 categorie di suolo di fondazione standard (Categorie A, B, C, D, E). Nell'ambito di tale classificazione l'area investigata può essere assimilata alla Categoria B. Per maggiori dettagli sul metodo di attribuzione del "tipo" di risposta, si rimanda alla predetta ordinanza. La funzione dello spettro di risposta elastico assume le seguenti espressioni:

$$0 \leq T \leq T_B: \quad S_e(T) = a_g * S * \{ [1 + (T/T_B)] * (\eta * B_0 - 1) \}$$

$$T_B \leq T \leq T_C: \quad S_e(T) = a_g * S * \eta * B_0$$

$$T_C \leq T \leq T_D: \quad S_e(T) = a_g * S * \eta * B_0 * (T_C/T)$$

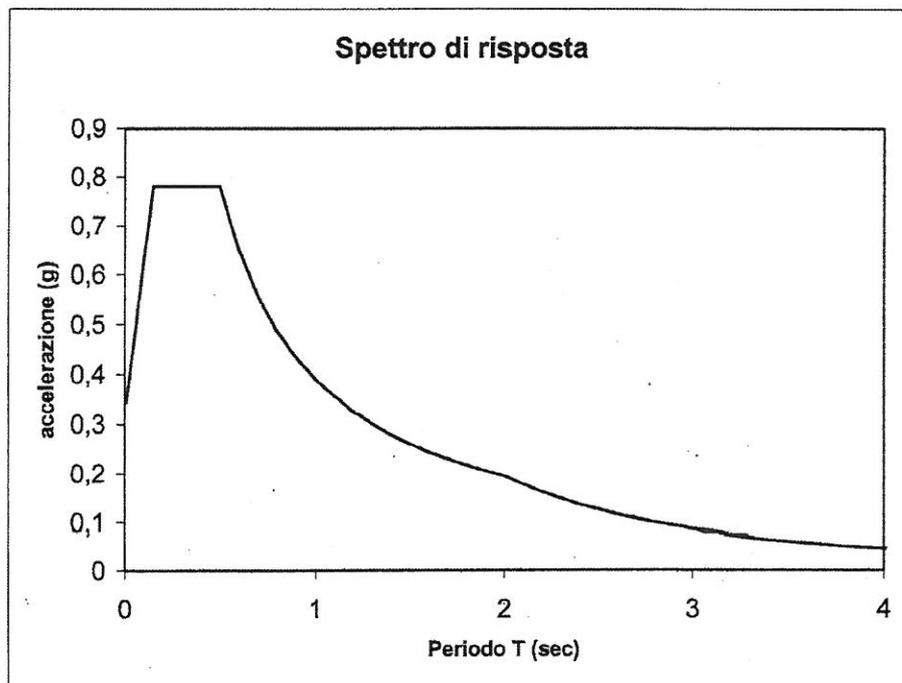
$$T_D \leq T: \quad S_e(T) = a_g * S * \eta * B_0 * [(T_C * T_D)/(T^2)]$$

Dove:

- Se (T) ordinata dello spettro di risposta;  
T periodo di vibrazione dell'oscillazione semplice;  
ag accelerazione di riferimento per la zona sismica in esame (0.25);  
Bo fattore di amplificazione dello spettro di accelerazione per damping del 5%;  
TB, TC limiti del tratto costante dello spettro di accelerazione;  
S fattore che tiene conto del profilo stratigrafico del suolo di fondazione;  
 $\eta$  fattore di correzione, per valori del damping diversi dal 5%.

Per i terreni ricadenti nella Categoria **B** si ha:

S	TB (sec)	TC (sec)	TD (sec)
1.25	0.15	0.50	2.0



L'accelerazione spettrale massima, pari a 0.781 g, è costante per periodi di oscillazione compresi tra  $T_b=0.15$  e  $T_c=0.50$  sec.